国际机械工程先进技术译丛

塑料连接手册

原书第2版

HANDBOOK OF PLASTICS JOINING



（英）Michael J.Troughton　主编

杨卫民　丁玉梅　何雪涛　等译

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际机械工程先进技术译丛

塑料连接手册

（原书第2版）

（英） Michael J. Troughton 主编

杨卫民 丁玉梅 何雪涛 谢鹏程
李好义 王 乾 边 智 钟 雁 译
杨斯博 王 欣 张 震 苗利蕾
赵凤雯 李 琳 周 莎 马 昆

机 械 工 业 出 版 社

本书分为两个主要部分。第1部分包括第1~18章，详细描述了包括一些仍处于发展阶段的所有适用于塑料连接的加工工艺。包括溶剂焊接、粘接和机械紧固，旋转、振动、超声波焊接和摩擦搅拌焊接，热工具、红外线、激光、热气体、挤出、射频和无逸料焊接以及热封，感应、电阻植入和微波焊接。本书的第2部分包括第19~43章，涵盖了特定材料的信息，是通过材料组织的特定塑料连接数据的广泛汇编，内容包括商品名称、等级和制品形状。每章都是一个单独的通用系列，并可细分为特定树脂类型。

< *Handbook of Plastics Joining* >, < *e2* >
< *Troughton, M, J.* >
ISBN: 9780815515814

ISBN: 9789812724472

北京市版权局著作权合同登记号：01-2009-5071

图书在版编目(CIP)数据

塑料连接手册：原书（第2版）/（英）屈劳顿（Troughton, M, J.）主编；杨卫民等译. —北京：机械工业出版社，2012.8
（国际机械工程先进技术译丛）
Handbook of Plastics Joining
ISBN 978-7-111-39005-3

Ⅰ.①塑…　Ⅱ.①屈…②杨…　Ⅲ.①塑料—连接技术—手册　Ⅳ.①TQ32-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第151010号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：曲彩云　责任编辑：曲彩云　高依楠
版式设计：纪　敬　责任校对：肖　琳
封面设计：鞠　杨　责任印制：杨　曦
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
2013年1月第1版第1次印刷
184mm×260mm ·41.75印张·3插页·1039千字
0001—3000册
标准书号：ISBN 978-7-111-39005-3
定价：149.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	策划编辑：(010)88379782
社服务中心　：(010)88361066	网络服务
销 售 一 部　：(010)68326294	教材网：http://www.cmpedu.com
销 售 二 部　：(010)88379649	机工官网：http://www.cmpbook.com
读者购书热线：(010)88379203	机工官博：http://weibo.com/cmp1952

封面无防伪标均为盗版

译 丛 序 言

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是20世纪80年代提出的，由机械制造技术发展而来。通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术，进行交叉、融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化的机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制；制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，制造技术既有共性，又有个性。

我国的制造业涉及以下三方面的领域：

- 机械、电子制造业，包括机床、专用设备、交通运输工具、机械装备、电子通信设备、仪器等。
- 资源加工工业，包括石油化工、化学纤维、橡胶、塑料等。
- 轻纺工业，包括服装、纺织、皮革、印刷等。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方面发展，在加工技术上主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等，在制造模式上主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

二、图书交流源远流长

近年来，国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用，制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

必须看到，我国制造业与工业发达国家相比，仍存在较大差距。因此必须加强原始创新，在实践中继承和创新，学习国外的先进制造技术和经验，提高自主创新能力，形成自己

的创新体系。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史，可以追溯到唐朝甚至更远一些，唐玄奘去印度取经可以说是一段典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流载体，早在20世纪初期，我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》，其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》，对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体，图书是一个海洋，虽然现在已有网络、光盘、计算机等信息传输和储存手段，但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性，看书总比在计算机上看资料更方便，不同层次的要求可以参考不同层次的图书，不同职业的人员可以参考不同类型的技术图书，同时它具有比较长期的参考价值和收藏价值。当然，技术图书的交流具有时间上的滞后性，不够及时，翻译的质量也是个关键问题，需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社希望能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者作出贡献，为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源，翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作，从而能够提升我国制造业的自主创新能力，引导和推进科研与实践水平不断进步。

三、选择严谨质高面广

1）精品重点高质　本套丛书作为我社的精品重点书，在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量，力求为读者奉献一套高品质的丛书。

2）专家选译把关　本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担，充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

3）引纳地区广泛　主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书，组成一套“国际制造业先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

4）内容先进丰富　在内容上应具有先进性、经典性、广泛性，应能代表相关专业的技术前沿，对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业，例如机械、材料、能源等，既包括对传统技术的改进，又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

5）读者层次面广　面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、研究人员和工程技术人员，高等院校的教师和学生，可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多积极热心支持出版“国际制造业先进技术译丛”的专家学者，积极推荐国外相关优秀图书，仔细评审外文原版书，推荐评审和翻译的知名专家，特别要感谢承担翻译工作的译者，对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切敬意，同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

本套丛书希望能对广大读者的工作提供切实的帮助，欢迎广大读者不吝指教，提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

前　　言

本书是一本既详细描述了塑料连接工艺又汇编了大量特殊塑料材料的连接工艺数据的独一无二的出版物。尽管各制造商对连接工艺的基本特点能给出较为明确的定义，但特殊塑料的连接数据并不容易获取。本书的作用是将大量来自不同途径的信息源（例如会议论文集、材料供应商、测试实验室、专著及贸易和技术期刊等）转化为有用的工程知识。

当最终制品过大或过于复杂时，或者有需要拆卸或再组装要求时，又或者为了降低成本，欲将不同的塑料材料组装在一起时，都有将模塑成型的塑料零件连接到另一个由相同塑料或不同塑料或金属制成的零件上的必要。热塑性材料经常使用焊接工艺进行连接，在此工艺过程中零件表面被熔化，使得高分子链间可以相互扩散。塑料连接还包括其他方法，例如粘接，即在两种零件的粘接层处应用另一种材料进行粘接；还有机械连接，即应用如螺钉和模内成型的联锁结构等紧固件来实现零件的接合。

本书涵盖了从塑料连接过程的基本概述到详细讨论及测试结果的信息。对于刚刚进入该领域的用户来说，详细的术语汇编非常有用。对想继续深入了解所罗列数据的用户，书中详细列出了信息源文件。

在第1版中，我们努力提供了尽可能多的连接方法和材料组合的信息。因此，即使详细的结果没有用（例如唯一可用的信息是，对于某种特殊材料来说，某种连接方法是不相容的），但仍提供了有价值信息，这些有限的信息仍可以当做参考点，聊胜于无。

本书包含大量通过不同渠道获得的数据和信息，通过相同的格式编排使这些信息更易于理解，而版面设计仔细考虑了使用时的适应性和易用性。在编辑过程中，虽尽力保证单位转换及信息表达方面的精确性和一致性，但仍可能存在一些由于源文件信息的不充分或不精确产生的不足之处。

知晓一种材料在其使用环境中的性能具有重大的意义，本书的信息对其给予有用的指导。然而，在确定某一特殊部件或材料在已知使用环境下的实用性时，本书的内容或者任何其他信息资源都不应取代实际的测试。

通过广泛修订以及更新，除了保留了第1版的所有信息外，第2版的《塑料连接手册》也涵盖了过去十年中出现的新信息。

非常感谢以下参与本书修订的英国焊接研究所中聚合物连接方面的专家：Chris Brown、Ewen Kellar、Natalie Jordan、Scott Andrews、Ian Jones、Richard Shepherd、Amir Bahrami、Ajay Kapadia、Marcus Warwick、Andy Knight 和 Farshad Salamat-Zadeh。最后，感谢我的妻子 Sue 以及我的孩子们 Hayley 和 Bradley 在本书的修订过程中给予的理解和耐心。

如何使用本书

本书分为两个主要部分。第1部分包括1~18章，详细描述了包括一些仍处于发展阶段的所有适用于塑料连接的加工工艺。除了溶剂焊接、粘接和机械紧固方法外，本书还描述了摩擦产生热量的焊接（旋转、振动、超声波焊接和摩擦搅拌焊接）、借助于外部热源的焊接（热工具、红外线、激光、热气体、挤出、射频和无逸料焊接，以及热封）和借助于在连接

线处放置植入物的焊接（感应、电阻植入和微波焊接）。

本书的第2部分包括19~43章，涵盖了特定材料的信息，是通过材料组织的特定塑料连接数据的广泛汇编，内容包括商品名称、等级和制品形状。每章都是一个单独的通用系列（例如，聚酰胺），并可细分为特定树脂类型（例如，聚酰胺6、聚酰胺66、聚酰胺11、聚酰胺12）。

第2部分的数据以文本、表格、图片和图形形式出现。文本信息通常作为唯一可用的信息或提供测试结果进行广泛讨论的唯一方式。表格和图形以清晰简明的方式提供了详细的测试结果。每个表格、图形或者图片都可独立，形式易于理解，并且提供测试条件和结果中所有相关和有用的细节。

在第2部分中，本书是按照连接工艺或按照可以找到感兴趣材料的特定信息组织的，而在第1部分中有这些连接工艺的基本资料。

目　录

第2部分 材 料

第1部分 连接工艺

第1章 热工具焊接

1.1 工艺描述

热工具焊接，也叫热板焊接、镜面焊、台板焊、对接焊或者对接热熔焊，是一种广泛应用于连接注射成型或挤压成型组件的焊接工艺。

此工艺用了一个热金属板，也叫热工具、热板或者是热台板，用它来加热和熔化热塑性工件的交界面。一旦交界面被充分地熔融或软化，热板就被移走，工件在压力下被挤压到一起便形成了焊缝。在焊接过程中的加热和连接/冷却阶段，需要给工件施加一个轴向负载。

焊接可通过两种方式来进行：按压力焊接或按距离焊接。两种工艺都由四个阶段组成，图1.1是压力随时间变化的曲线，显示了热工具焊接的四个阶段。

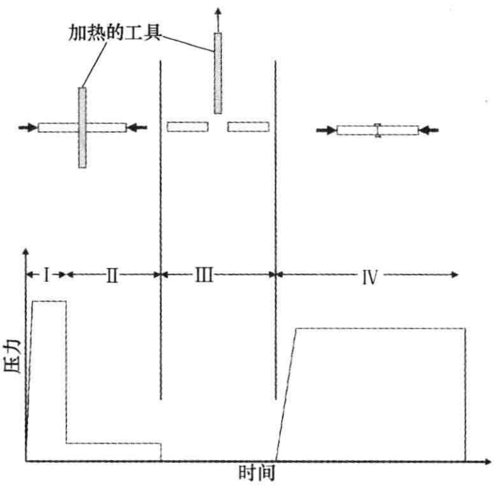


图1.1 压力-时间曲线
（来源：英国焊接研究有限公司）。

在按压力焊接的第一阶段，工件和热板接触，施加一个相对高的压力用来保证工件和热板的完全接触。热量通过热传导从热板传递到工件，使得最终其局部温度升高。当温度达到塑料的熔融温度后，熔融的材料开始流动。这种熔融过程消除了表面缺陷、翘曲和连接表面的塌陷，可得到光滑的边缘。一些熔化的材料由于施加的压力被挤压出连接表面。

在第二阶段，熔融压力降低，使得更多的热量渗入到材料中并使熔融层变厚；熔融层厚度增加的速率取决于通过熔融层的热量传导量。熔融层厚度随着加热时间（即工件和热板接触时间）的增加而增加。

当熔融层厚度达到足够厚时，将工件和热工具分开，这是第三阶段，即转变阶段。当工具被移走后，压力和表面温度降低，这个阶段的持续时间要尽量短（最理想的话，少于3s），以防止熔融材料过早地冷却。如果转变时间太长的话，一层薄薄的结实的“皮肤”就会在连接表面形成，影响焊接质量。

在第四阶段，工件在压力下连接起来，随着冷却和固化使得熔融的材料向外侧面溢出。

这一阶段，分子间的扩散造成决定连接强度的聚合物分子链的缠绕。由于在冷却阶段会形成最终分子结构和残余应力，所以在冷却阶段维持压力来限制翘曲显得重要。在这个阶段，产生了影响连接处化学稳定性和机械特性的微观结构[1,2]。

按压力焊接方法要求设备施加的压力能得到精确控制。这个技术的一个缺陷是最终工件的尺寸精度不能够直接得到控制；熔融厚度的变化和热塑性材料的熔融粘度对小幅温度变化的敏感程度都能够导致工件尺寸不可接受的变动量。

按距离焊接方法，也叫按位移焊接，即将前面介绍的工艺过程加以修改，使用了刚性机械限位器来控制焊接过程和工件尺寸。其工艺步骤如图 1.2 所示。

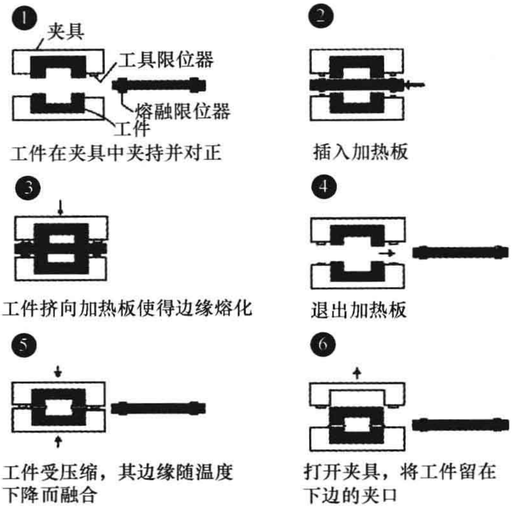


图 1.2　热工具焊接（按距离焊接）工艺（来源：福沃特科技）。

在第一步，工件在夹具上对正；工具限位器和熔融限位器被分别设置在夹具和热工具（热板）的指定位置。在第二步，将热工具插到工件之间。在第三步，工件对着热板施压。此时，发生了如按压力焊接方法中所描述的第一阶段。材料熔化并溢出焊接面，这样工件长度减小直到熔融限位器碰到工具限位器。之后熔融厚度增加（第二阶段）直到第四步热板被移走，此时即转变阶段（第三阶段）。第五步，将工件压在一起（第四阶段），当工件冷却时，形成一个焊缝；工具限位器抑制了熔体的溢出。在第六步，将焊接好的工件取出。

1.2　优缺点

热工具焊接是一种既简单又经济的技术，能够对大小焊件实现高强度密封焊接。平的、弯的或复杂几何形状的接合面都可以焊接，对不规则的接合面可以在加热阶段使其平滑再焊接。可以接合有不同熔点的不同材料，可以使用不同温度的热工具焊接。通过工艺参数的全面检测易于实现焊接工程的自动化。由于这个过程不引入任何外部材料至接合处，有焊接缺陷的焊件容易得到回收[1,3]。

此工艺的主要缺点是，和其他普通的焊接技术如振动焊接、超声波焊接相比，其循环时间长。对于小的焊件来说，焊接时间为 10 ~20s；对于大的管件，焊接时间长达 30min。对于更小的焊接件来说，通过使用多腔工具，即同时焊接两组或多组焊件，可以提高生产效率。

另一个缺点是，焊接熔融温度要求很高。焊接热量不像振动焊接那么集中，有时还会使塑料降解或粘到热板上。当熔化的表面互相挤压时，会产生焊瘤。对于某些应用来说，为了美观，必须将焊瘤隐藏或去除。在按压力焊接中，由于熔化的薄膜厚度的变化以及热塑性塑料对小的温度变化的熔融粘度敏感程度的变化，无法可靠地控制焊件尺寸[4]。

1.3　应用

热工具焊接用来连接小到几个厘米大到 1.6m（63in）直径的焊件，如塑料管件（见

1.9.2节)。也可用来做内层薄膜的连续焊接(见1.9.3节)。

热工具焊接广泛应用于汽车业,最常见的应用是汽车尾灯和指示灯的焊接(见图1.3)。将外壳(一般用ABS制作)和彩色镜片(用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)或聚碳酸酯(PC)制作)焊接在一起。这些应用说明,对于热工具焊接,可兼容一种或几种材料的接合。

ABS和PMMA灯可以用一个单独的热板焊接,因为它们的熔点相似。对于ABS和PC来说则必须用两个热板,还要用到真空吸盘来避免对镜片的划伤。

专门定制的热板焊接机用于制造吹塑成型高密度聚乙烯(HDPE)燃料箱。要求将多达34个焊件,比如夹子、接管口、通风管、支架等,焊接到燃料箱上。

其他由热板焊接连接的汽车零部件包括电池外壳、化油器浮筒,冷却剂、风窗玻璃清洗剂贮液槽,通风管等。

由热板焊接连接的家用电器组件包括洗碗器喷水臂、洗衣粉盒(见图1.4)、蒸汽熨斗水盒等。

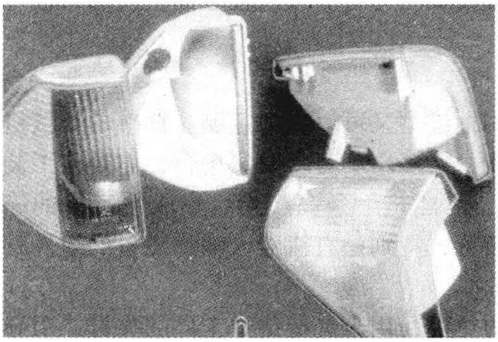


图1.3　热工具焊接的汽车指示灯
(来源:布兰森超声波有限责任公司)。

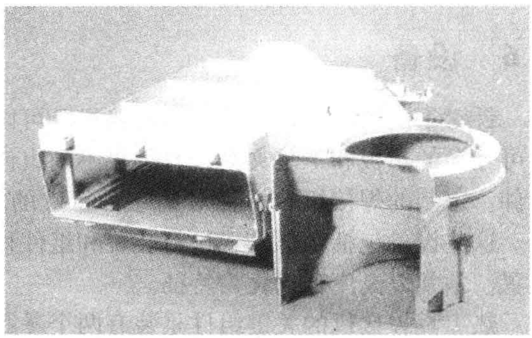


图1.4　热板焊接的肥皂粉托架
(来源:布兰森超声波有限责任公司)。

由热板焊接连接的其他杂项包括高密度聚乙烯桶上的盖子、处理医疗针的利器盒、聚丙烯(PP)运输托盘、聚氯乙烯(PVC)窗框角等。

1.4　材料

热板焊接适合于几乎所有的热塑性材料,但最常用于质地较软、半结晶热塑性材料如PP和PE的焊接,一般不用于尼龙或高分子材料。熔融薄膜的温度可以通过调节热板温度得到控制,使得塑料的降解温度略高于焊接时的熔化温度。

待焊塑料的特性(包括熔融粘度和密度)影响焊接强度。低熔体流动指数的聚合物具有高的熔融粘度,可允许高的加热温度而不会粘在热板上。因此,焊接热影响区(HAZ),即焊件受到热量影响的区域,可以更大一点,以得到更高的连接强度。在一个恒定的熔体流动指数的前提下,增加聚合物密度可使得连接部位的拉伸强度降低。聚合物密度越高,则结晶区域越大,相比于低结晶度的聚合物来说,其熔融的温度范围越窄,结果得到的焊接热影响区更薄、焊缝更脆[5]。

在吸湿性材料如PC和尼龙中,吸收的水分可能会在加热过程中沸腾,产生水蒸气,降

低焊接强度。可以通过对材料进行预干燥处理得到高的焊接强度，或者调整过程参数来补偿吸收的水分[6]。

不同熔点的不同材料，假如它们在化学上相容，就可以通过热工具焊接连接；但不使用两个暴露表面的单个板，而是使用两个热板，每个热板各自加热到对应焊件的熔化温度。每个焊件都必定有不同的熔点、不同的焊板位移和不同的加热时间，由于熔化温度和粘度不同，每个焊件的位移也不同。焊缝的最高强度等于较弱材料所能达到的焊接强度[4]。

1.5 焊缝的微观结构

焊接质量取决于焊缝热影响区的微观结构。除了焊瘤外，热影响区由三个区域组成：无应力再结晶区由球形晶粒组成，说明结晶在没有显著压力下生成。这一区域主要由表层以及焊接面附近熔化层的再加热和再结晶而形成。圆柱形晶区由沿着熔体流动方向取向的延长晶粒组成，在这一区域，低温导致熔体粘度的增加，晶粒在熔流向着流动方向取向的过程中形成。轻微畸变晶区中，在焊接压力下产生再结晶，而存在畸变的球形晶粒。加热温度越高，热影响区域越大，粘合强度越高；然而，过高的温度或压力会导致焊接表面空穴的形成[1]。

1.6 设备

针对不同的焊接件，热工具焊接机既可以使用标准型又可以专门定制。标准的焊接机通过可互换的热板和工装夹具，有焊接不同组件的能力，多用于劳动密集场合，需要人工装卸组件。定制的焊接机专门针对某一种特殊的组件，可能是一条高产量、集成生产线的一部分。这些设备包括输送带式送料装置和组件移动装置，特别是有机器人辅助设备的组件移动装置，常常以高度自动化为特征。

热工具焊接机的关键组件是装有两个暴露面的热板、用于夹持待焊工件的夹具、引导工件接触热板并进行焊接的驱动系统。双板热工具焊接机用于焊接不同的材料。

热板一般是由铝合金制成的，因为它是很好的热导体且耐腐蚀。对复杂的连接，可用形状与连接表面相匹配的轮廓板。在热板的内部结构安装一些电加热棒，来保证温度均匀分散到两个表面。一个紧贴热板表面安装的热电偶可调节温度，控制在设定温度的10℃（18℉）范围内。粘接在热板表面的聚四氟乙烯（PTFE）层用来防止在转变阶段熔融聚合物粘接在热板上。因为PTFE在270℃（518℉）时开始降解，热板的温度不能超过这个值。对于高温焊接（见1.9.1节）来说，可以应用一种没有PTFE粘接层的铝青铜热板。

为了精确配合和对正，一些夹具（弹簧夹头、夹钳爪、机械装置和真空吸盘）必须夹持要连接的工件，以避免在焊接压力下的变形。液压气压驱动的机械夹具很受欢迎，而复杂形状的或是有精细表面的工件要用到真空吸盘。为了提高生产效率，常用两腔或多腔工具来夹持工件。

驱动系统由液压或气压驱动来提供精确定向和压力控制。响应必须足够迅速，以保证加热结束时熔化表面能干净利落地和热板表面分离，并且保证转变阶段尽可能地短。

焊接周期的统计控制可以通过操作能显示所有机械参数和具有诊断功能的控制面板来达到，而且，压力和位移参数可以在焊接循环中进行编辑。

工件传输机构或屉式负载装置都是可选择的设备。典型的半自动热工具焊接机如图1.5所示。

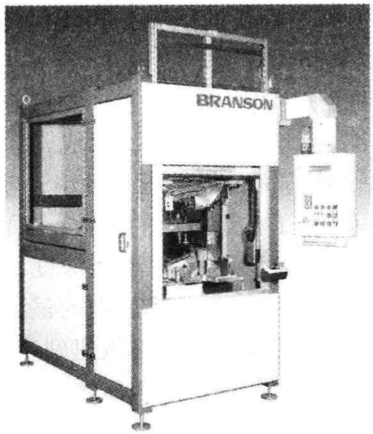


图1.5　典型的半自动热工具焊接机（来源：布兰森超声波公司）。

1.7　接头设计

接头设计的选择取决于焊接件的应用场合。在热工具焊接中，挤压熔流一般都会产生焊瘤，这对某些应用是不允许的。可在设计中加入焊阱来隐藏焊瘤（见图1.6）。

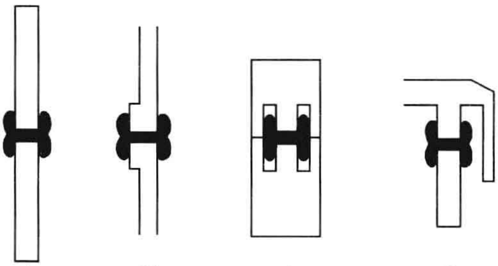


图1.6　用于热工具焊接的接头设计（来源：英国焊接研究有限公司）。
a）简单的对接接头　b）增大的接头面积
c）双焊阱　d）裙式接头

如图1.6b所示，可以通过扩大焊接接缝面积来增大由焊缝传递的载荷。当焊接填料量高的塑料时需要这一操作，因为这种塑料在接缝处可焊接的材料相对较少。图1.6c表示了一个有双焊阱的焊接接头，它完全隐藏了焊瘤。可以发现，此种方式当焊接面区域不到焊面整体面积的50%时，承受负载的能力严重下降。图1.6d表示了一个裙式接头，当要把盖子焊到容器上时，可以用这种焊接接头形式，汽车用的蓄电池就是一个典型的例子。

1.8　焊接参数

热工具焊接的重要工艺参数有热板温度、第一阶段的压力（配合压力或加热压力）、加热时间、加热过程中允许的位移量（加热位移）、第二阶段的熔融压力、转变时间（保压时间）、第四阶段的压力（焊接压力、连接压力或固化压力）、第四阶段的持续时间（固化时间或焊接时间）、第四阶段许用位移（焊接位移量）。

根据待焊材料的熔点来设定热板温度。热板温度一般比热容塑性材料熔点高30～100℃（54～180℉）。一个例外就是高温焊接（见1.9.1节），其热板温度在300～400℃（572～752℉）范围。

第一阶段（配合阶段）的压力一般是0.2～0.5MPa（29～72.5psi），而且要保证工件和热板的几何面一致。成型工件总是表现一定程度的翘曲，因此该压力需保证整个焊接表面和热板表面接触，以得到很好的热传递效果。然而，该压力不能引起工件自身的变形。

加热压力（第二阶段）低于第一阶段的压力，并能保持工件与热板的接触。如果这个压力太大，将会有过量的熔化材料挤出焊缝。

焊接压力（第四阶段）将两个熔融面对在一起，要控制该压力使得在焊缝处有适当量的熔化材料。如果挤出的料太多，就会有“冷焊”形成（也就是所有的热料被挤出了热影响区），只留下冷料形成焊缝。另一方面，如果压力过小，就有可能在焊缝或焊接表面陷进空气，无法充分地接触。这将限制分子在焊缝内的扩散，从而导致焊缝不牢固。

在按距离焊接中，设置参数使得位移（也叫渗透深度，是由于熔融材料外溢引起的工件长度的减少）足够大以控制工件尺寸。在焊接过程的最初阶段，熔流比较小，熔融薄膜开始变厚。随着加热时间的增加，流速加快，最终流速到达一个稳定状态，此状态下，外溢流速和材料熔化速度持平；在按压力焊接中，渗透深度随时间呈线性增加。然而，在使用限位器的情况下，当熔融限位器和热板的限位器接触时，渗透停止，直到熔融限位器和热板限位器接触上，熔料从侧面流出，之后熔料的厚度随时间增加。

熔融层的厚度是焊接强度的重要决定因素。如果熔融层的厚度小于熔融限位器的位移，熔融限位器就不能接触到夹具限位器，工件尺寸就不能控制，焊接质量将会因分子间扩散有限而变差。在第一阶段和第二阶段足够的位移除了有助于提高焊接强度外，还可以弥补工件焊面的不规则特点，而且保证被污染了的表面层熔流在焊接阶段之前就流出焊面[7]。

熔融厚度随着加热时间的增加而增加。为了得到最佳熔融层厚度，加热时间应当足够长，以保证熔融厚度和熔融限位器的位移量一样大。加热压力越高，挤出的熔流量就越大；如果挤出焊接面的材料过多，位移限位位置可能达不到，而且，熔化层厚度减少将引起焊缝质脆。如果熔融厚度比熔融限位器的位移量还大，那么熔化的材料将被挤出去，从而在焊接面产生焊瘤和不利的分子取向，也会降低结合部的质量[7-9]。

生产中的质量控制可以通过检测焊接过程的参数来实现，如果某个参数超出了指定的允许范围，焊接机会发出信号或停止焊接过程。更复杂的技术包括统计过程控制（SPC）和连续过程控制（CPC）：统计过程控制（SPC）在整个焊接周期中监测和比较参数以及熔体特性；连续过程控制（CPC）不断地计算最优参数。在整个焊接过程中，焊接设备随时对焊接状态进行必要的调整[10]。

1.9 特殊热工具焊接

1.9.1 高温焊接

在某些热塑性材料特别是那些熔融强度和粘度低的材料的热工具焊接中，熔体粘住热板和熔体成串流出确实是个问题。滞留在热板上的熔化物料接着可能会分解并转移到下次焊接，导致焊缝力学性能变差，视觉效果不好。为了避免这种情况，可以使用高温工具焊接，它的热板表面温度为300～400℃（572～752℉），其值取决于焊接材料。由于PTFE不粘涂层在270℃（518℉）开始分解，所以热板不进行涂层处理。

其工艺顺序和传统的热工具焊接是一样的，不过第一阶段和第二阶段的时间极其短暂——一般为2～5s。在如此高的温度下，熔体粘度很低，当移开工件的时候，熔体能干净利落地脱离热板。任何残留在热板表面的材料都挥发或氧化了，为下一次焊接准备了干净的热板。应该在焊接机的上部安置排烟设备来除去挥发的材料。

由于高温，焊接表面的热降解也要考虑到。尽管这个过程降低了焊接强度，但是任何降解过的材料都将会在第四阶段被挤出焊缝，焊接质量将只会受到轻微的影响。

高温热工具焊接已经显示出其对于 PP、PP 共聚物（如用于焊接汽车电池的材料）、ABS 和丙烯酸树脂类（如焊接汽车尾灯组）等材料有好的生产效果。对于增强的和填充的塑料来说，热板上的残留物不能完全挥发和氧化，所以要求装置在焊接间隙可以自动清理热板。

1.9.2　塑料管材的热工具焊接

塑料管材的连接是热工具焊接最常见的一个应用。下面描述了对接热熔焊、插口热熔焊和马鞍形/侧壁热熔焊工艺。

1.9.2.1　对接热熔焊

热板焊接是一种被广泛用于焊接 PE、PP 和聚偏氟乙烯（PVDF）管件的技术，一般被称作对接热熔，其工艺原理和传统热工具焊接相同。

对焊机可以手动、半自动或全自动操作。使用手动机器，所有的焊接时间和压力都由操作员设定和控制。半自动对焊机的时间和压力通过电子用户界面来设定和控制，修边机和加热板由人工控制。全自动对焊机所有的焊接参数由微机来设定和控制，修边机和热板由液压驱动。典型的对焊机如图 1.7 ~ 图 1.10 所示。

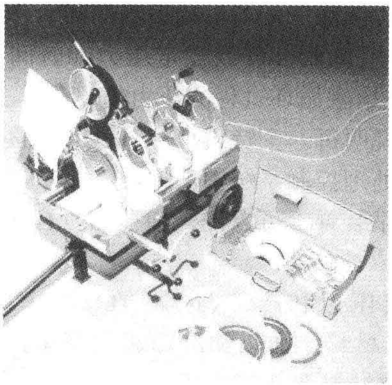


图 1.7　手动对焊设备
（来源：英国焊接研究有限公司）。

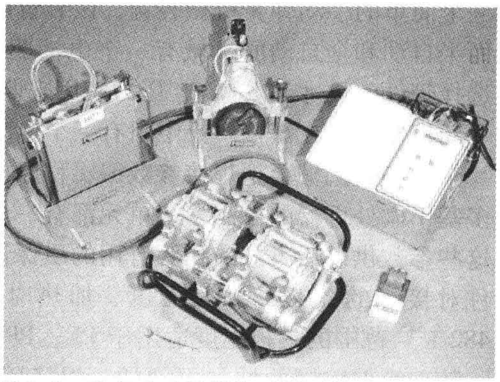


图 1.8　半自动对焊设备（顺时针从左上边看）：热板（在防护罩内），修边机，液压控制系统，数据打印机和焊接托架（来源：英国焊接研究有限公司）。

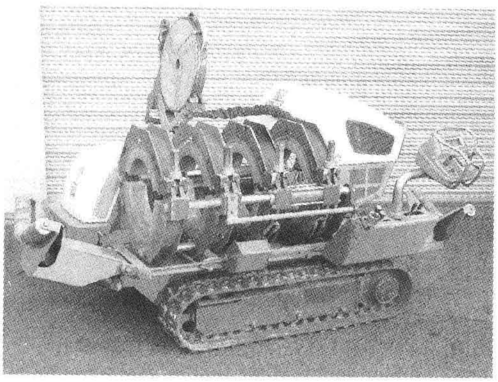


图 1.9　半自动、全地域对焊机
（来源：英国焊接研究有限公司）。

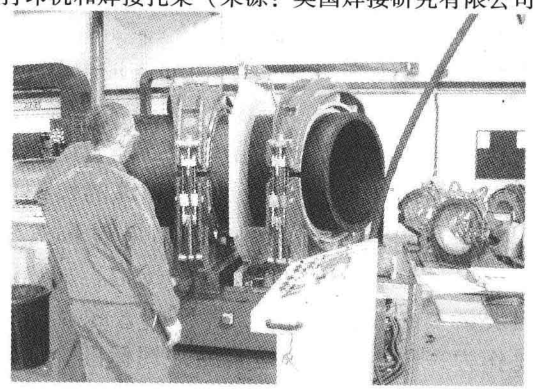


图 1.10　车间大直径管材对焊机
（来源：Plasflow 公司）。

所有类型的对焊机都由以下重要部件组成：热板、刨削设备、管件夹具支撑托架、不同尺寸的管件夹具、控制系统（手动或微处理器）。

电加热板一般由铝制造，用来均匀地加热管件的端面。它应当配以适当的控制器，把温度调节在给定的材料熔化的范围内。热板的表面一般涂上聚四氟乙烯不粘涂料，以防止残余材料在热板上的堆积，因为这种堆积会污染焊缝。在一些设备中，聚四氟乙烯涂层涂在独立的面板上，这样当涂覆层被破坏后可以更换面板。当热板不用时，一般要一个干净的隔热防护罩来挡在热板上，以防止和地面接触沾上尘土和烟气。

刨刀，有时也叫修边器、刮削工具或是平面切削刀具，用来精确修整管件端面，使端面平整便于加热。

在焊接时，框架内的夹具支撑托架是整套设备用来夹持和支撑管件的主要部件。对焊机的这一部分是根据需要焊接管件的最大直径设计的。为了夹持直径小的管件，可以插入缩小夹具或“壳体”。夹具通常在两个位置围绕在每个管件的圆周。夹具壳体一般做成锯齿状或是做过喷砂处理来改善管件表面的抓力。在一些设备中，窄小的夹具可以用来夹持管件端部、法兰和弯头这些长度不足以用标准厚夹具夹持的管件。夹具支撑托架有两个导向元件，一般是两条平行钢轨，夹具可以在柱塞驱动下在导向元件上面前后移动。

控制单元用来驱动柱塞打开和关闭托架，并且在焊接中提供足够的驱动力。在手动机械中它是一个简单的手动弹簧机械装置，该装置可以在由线性标尺所指示的适当的弹力作用下锁住；而半自动和全自动的机械有一个电液驱动装置。用户面板可以设定压力和时间（一般通过选择管件的尺寸和壁厚），压力表用来监测柱塞在熔融循环过程的压力值。

在手动机器上，在焊接单元中附有一个铭牌，详细说明每一个特定尺寸管件的焊接压力和时间。全自动的机械会把焊接参数编辑程序放在软件处理控制系统中。

很多基于微处理器的控制系统单元都有一个数据记录装置，可以记录和存储所有的焊接参数。这些参数供以后下载或作为有用的质保记录。

管件对接焊的关键参数是温度、加热时间、焊接压力和冷却时间。在 200 ~ 250℃（392 ~ 482℉）范围的热板温度适用于 PE、PP 和 PVDF 材料。加热和冷却时间基于待焊管件壁厚，随着管件壁厚的增加而增加。焊接压力按所用材料和所用标准不同控制在 0.1 ~ 0.5MPa（14.5 ~ 72.5psi）的范围内。有许多国家标准和国际标准同时存在，管理着管件对接焊的参数和步骤。国际标准草案 ISO/DIS 21307 已经起草好，用以协调关于管壁厚度小于 70mm（2.76in）的 PE 管材焊接的各种标准[11]。

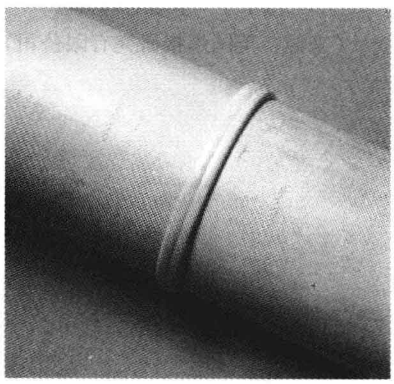


图 1.11　完工的对接焊焊缝（来源：英国焊接研究有限公司）。

对接焊的一个特点就是在焊缝处随着熔化材料挤出产生焊瘤或焊珠（见图 1.11）。对焊珠的检测可以给出关于焊缝的定性的信息。例如，如果焊珠太小或是太大，可以揭示焊接参数的缺陷（如压力、加热时间或温度各自要么太高要么太低）。焊珠的去除在某些地区或国家是作为一种质量保证检验的常规标准。通过扭转和弯曲焊珠，沿着焊珠中心线的裂口可以显示和检测出污

染和缺陷。

1.9.2.2 插口热熔焊

插口热熔技术主要用于焊接外径低于125mm（4.92in）的PP、PE和PVDF管件。其工艺包括一个注射成型插口配件的使用。连接在热板上的阴阳两极热工具用来同时加热插口配件的内表面和管件（见图1.12）的外表面。到了设定的加热时间之后，从热工具处移走加热了的管件和插口配件，然后将管端推进插口配件内，形成焊缝。

插口热熔焊接可以使用简单的手持工具，或者使用对热板工具修改过的手动对焊机。手持型的插口热熔焊接（见图1.13）可以用一个简单的电热板，在它上面接上插口配件和接头。一般会配备一个支撑台、支撑平板或夹具。

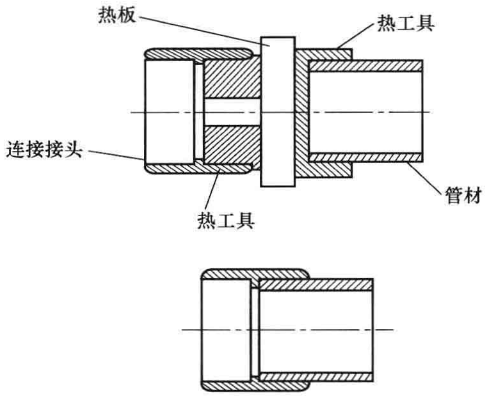


图1.12 插口热熔焊接工艺的简图（来源：英国焊接研究有限公司）。

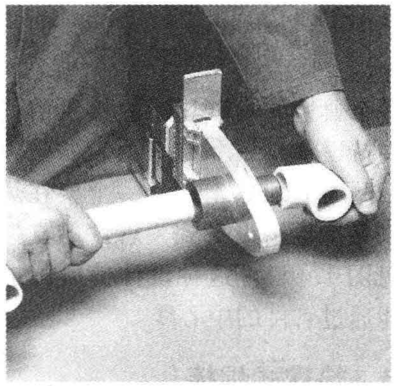


图1.13 手持型的插口热熔焊接（来源：英国焊接研究有限公司）。

外径超过50mm（1.97in）的管件可以在手动对焊机上进行插口热熔焊接。移走正常的热板，换上一个有中央固定孔的热板，在板的一面连接插口配件，在板的另一面连接接头。因为要考虑到获得最佳传热，接触面的清洁和平整是很重要的。另外，并不是所有的手动对焊设备都适于插口热熔焊接。由于注射成型配件的形状和尺寸要求，插口配件的管夹和单独为对接焊设计的管夹相比要窄一些。

加热的插口配件和接头工具一般用铝制造，且涂上一层PTFE不粘涂层，这可以防止焊接过程中熔化的塑料粘在加热板表面。插口配件和接头的尺寸对于得到有效的加热至关重要。

插口热熔焊接的关键参数是温度、加热时间和冷却时间。压力由管件和插口配件过盈配合尺寸来控制，因此它们和加热工具的配合应在公差限内，这至关重要。一般将焊接温度设定在250～270℃（482～518℉）。完工的插口热熔焊缝会在管件进入配件插口的地方有两圈焊珠（见图1.14）。任何关于设备设置或焊接参数的问题都将通过焊珠的视觉效果显现出来。

1.9.2.3 马鞍形/侧壁热熔焊

这是把马鞍形的配件接到主管件上形成分支连接的技术。使用凹凸面加热工具对管件的外表面和马鞍配件的配合面同时加热一定的时间（见图1.15）。加热之后，移走加热工具，用可控的力将两个面焊到一起[12]。

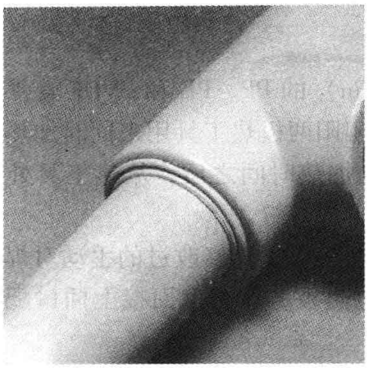


图 1.14　完工的插口热熔焊缝
（来源：英国焊接研究有限公司）。

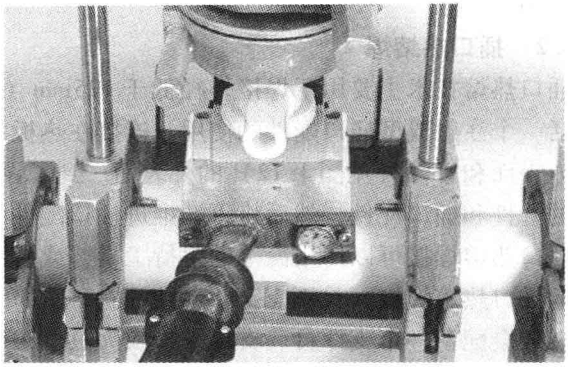


图 1.15　管件表面和鞍座的同步加热
（来源：麦克尔罗伊制造股份有限公司）。

一个典型的马鞍热熔焊接机由一个夹持配件的夹持设备、一个有压力表的敷料机构、一个有凹凸面的加热工具和一个架在热熔区域两边的以夹持整个设备到主管件的支撑系统所组成（见图 1.16）。这种设计使所施加的热熔焊接力能通过管件的中心线。

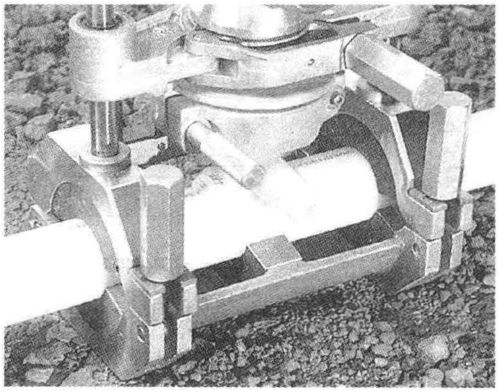


图 1.16　完工的马鞍形焊缝
（来源：麦克尔罗伊制造股份有限公司）。

1.9.3　热楔式焊接

热楔式焊接是热工具焊接的一种特殊类型，又称为热楔焊接或热靴焊接。主要用来将薄片材料或薄膜以重叠的布局方式焊接在一起。

热楔式焊接法由一个楔形电阻加热元件组成，它可以在两层待接缝的薄片之间移动。利用楔形滚子施加压力迫使两层薄片与加热的楔形板紧密接触。由于楔形板熔化了即将焊接的薄片表面，在楔形板的上下表面形成一个剪切流。当两层薄片在楔形板尖端结合时，施加滚子压力，以形成最终的焊缝（见图 1.17）。热楔式单元可自动实现温度、压力和移动速度的控制。图 1.18 所示为热楔式焊接机的一个例子。

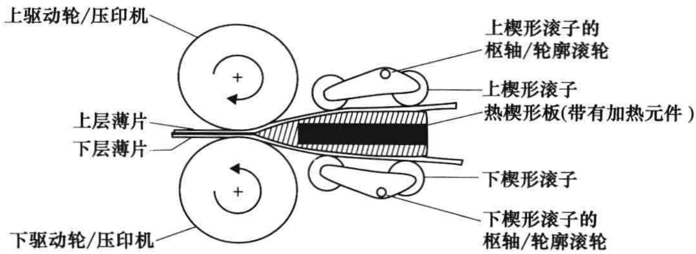


图 1.17　某焊缝的热楔式焊接机的侧视图（来源：英国地膜协会）。

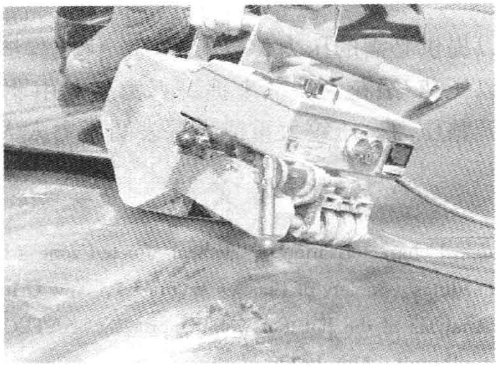


图 1.18　工作中的热楔式焊接机（来源：英国焊接研究有限公司）。

利用热楔式焊接可以生产两种连接形式：单接缝（单线）和双接缝（双线）。双接缝（见图 1.19）有个优势，它可以形成一个无焊接的通道，这个无焊接的通道在焊接之后可用空气加压，目的是对焊缝的完整性进行无损测试。

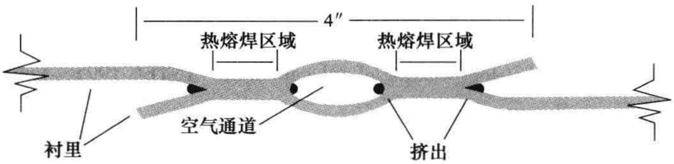


图 1.19　双线热熔焊缝（来源：英国地膜协会）。

图 1.20 显示了生产双接缝使用的楔形板的几何形状。

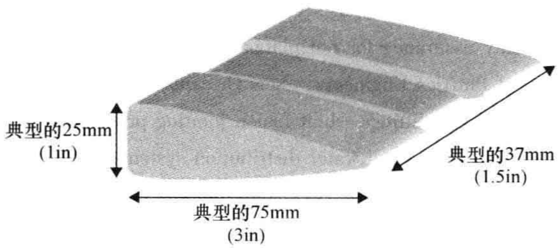


图 1.20　双重（分裂）楔形热板（来源：英国地膜协会）。

在热楔式焊接中，三个重要的参数是温度、压力和速度。对于地膜和其他户外衬膜的焊接来说，参数的设定将极大地取决于给定当天的环境温度。如果环境温度比较低，衬膜/薄膜会比较硬，这意味着焊接速度必须低些以确保维持温度、压力、焊接速度之间的正确关系。环境温度升高，会有软化材料的效果，这就要求焊接速度加快以避免焊缝加热过度。在有风的情况下焊接也会有问题，因为风对楔形板的冷却速度有影响。另外，空气中的污染物也可能进入焊缝。

对于 HDPE 膜的热楔式焊接，典型的焊接温度范围是 220 ~ 400℃（428 ~ 752℉）。热楔式焊接机是自推进的，速度取决于膜厚和环境状况，一般为 0.7 ~ 4m/min（2.3 ~ 13.1feet/min）；

膜越厚，焊接速度越慢。

通过调节驱动轮，可以提供必需的压力，以形成一个优质焊缝。其设定随着待焊材料厚度的变化而改变。驱动轮以压花/滚花为特征来提高抓力。对由驱动轮产生的衬膜表面的压痕进行外观检验，有助于调整压力。压纹太重或太深表明压力太大。

参考文献

[1] Nieh JY, Lee LJ: Morphological characterization of the heat-affected zone (HAZ) in hot plate welding. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

[2] Poslinski AJ, Stokes VK: Analysis of the hot-tool welding process. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

[3] Potente H, Michel P, Natrop J: Computer-aided heated-tool welding of materials with different rheological and thermal properties. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

[4] Stokes VK: Experiments on the hot tool welding of dissimilar thermoplastics. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

[5] McGreevy RJ: Hot plate welding of high density polyethylene: the effect of melt index and density on weld strength. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

[6] Stokes VK: Experiments on the hot-tool welding of polycarbonate. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

[7] Stokes VK: The hot tool welding of acrylonitrile-butadiene-styrene. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

[8] Lin TT, Benatar A: Effects of hot plate welding parameters on the weld strength of polypropylene. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

[9] Staicovici S, Benatar A: Modeling squeeze flow in hot plate welding of thermoplastics. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

[10] Pecha E, Casey RM: Quality assurance for hot plate welding in volume production. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

[11] ISO/DIS 21307: Plastics pipes and fittings—butt fusion jointing procedures for polyethylene (PE) pipes and fittings used in the construction of gas and water distribution systems, 2006-2007.

[12] Craig J: PPI generic saddle fusion procedure. 17th International Plastic Fuel Gas Pipe Symposium, San Francisco, October 2002.

第 2 章　超声波焊接

2.1　工艺描述

超声波焊接是焊接热塑性塑料中应用最广泛的方法之一，它利用高频（20 ~ 40kHz）超声波能量产生低振幅（1 ~ 25μm）的机械振动，该振动在焊件焊接交界面产生热量，使得热塑性材料熔化并在冷却后形成焊缝。超声波焊接是已知的最快的焊接技术，其焊接时间一般为 0.1 ~ 1.0s。

除了焊接，超声波能量通常用于某些工艺过程，如将金属件插入塑料，或者将热塑性塑料部件改为由不同材料制成的机械紧固组件。

当一种热塑性材料受到超声波振动时，材料中会产生正弦驻波。一部分能量通过分子间的摩擦被耗散，使得整个基体材料的热量积聚，另一部分热量被传递到焊接交界面，此处边界面摩擦引起局部加热。超声波能量向接合处的最佳传输和随后的熔融行为取决于工件的几何特征，也取决于材料的超声波吸收特性。

振动源离接合处越近，由于吸收损失的能量就越少。离振动源的距离小于 6.4mm（0.25in）的焊接称为近区焊接，这种工艺用于结晶材料和低硬度材料，这些材料具有高的能量吸收特性。接合处离振动源的距离超过 6.4mm（0.25in）的焊接称为远区焊接。这种工艺用于无定形材料和高硬度材料，这些材料具有低的能量吸收特性。

在接合处表面，由于表面粗糙，受到的应力和摩擦力比基体材料大，所以一般来说产生的热量最高[1-3]。

在很多超声波焊接的应用中，在上部工件上模制了一个被称为能量引导块的三角形突起。这个能量引导块被用来在接合处表面（即焊接交界面）集中超声波能量（见图 2.1）。

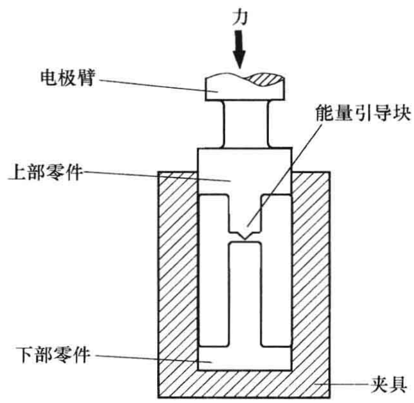


图 2.1　采用能量引导块的超声波焊接（来源：英国焊接研究有限公司）。

在焊接过程中，振动垂直于焊接交界面，并且使能量引导块的顶点和要焊接的一个工件接触，在这一顶点处产生的热量最高。在焊接工艺的第一阶段，能量引导块就开始熔融并流到接合处（见图 2.2），位移量（即由于熔融流动引起的工件之间距离的减小）迅速增加；然后，随着熔化的能量引导块的扩散并接触到下面工件的表面时，移动速度减慢；随后，熔融速率降低。在第二阶段，两工件表面接触，熔融速率增加。稳态熔融发生在第三阶段，伴随着一个恒定的温度分布，在焊缝处形成一个恒定的熔融层厚度，经过一段特定的时间，或者达到一个特定的能量水平，或者达到某个距离，能量的供应停止。在第四阶段开始时，超声波振动停止。保持压力，使一些多余的熔体挤出接合处，形成分子键连接，然后焊缝冷却[2-4]。

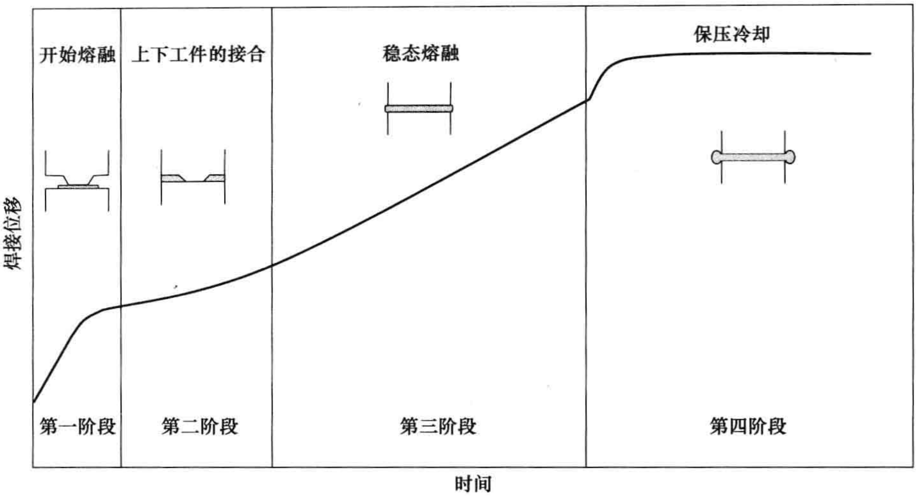


图 2.2　超声波焊接的各阶段（来源：英国焊接研究有限公司）。

2.2　优缺点

超声波焊接是在工业中最受欢迎的焊接技术之一。它焊接速度快、经济、易实现自动化，并且很适合大批量生产，其生产效率可达到 60 件/min；它可以使用紧凑设备得到一致的、高强度的连接；其焊接时间要比其他焊接方法短，也不需要复杂的通风系统除去烟雾或热量；和其他组装方式比较，该焊接工艺能效高，成本低廉，生产效率高，可以快速更换工装夹具；和其他焊接方法相比，该焊接方法有更大的灵活性和多功能。超声波焊接一般用于医疗保健业，因为它不产生污染，也不产生那些可能影响医疗设备生物相容性的焊缝的降解源。

超声波焊接的一个局限是，在现代技术中，大件（如尺寸大于 250mm × 300mm；10in × 12in）焊接无法在一次操作中完成。另外，需要设计专门的焊接详图，尽管使用高频设备可以减少对电子元件的损害，但超声波振动仍能损坏电子元件；而且，对于不同的焊接元件，夹具的工装成本可能会很高[5-7]。

2.3　应用

超声波焊接几乎应用于所有主要的、需要大批量热塑性材料组件的组装工业。下面是一些例子：

- 汽车制造：前照灯部分、汽车仪表盘、按钮和开关、燃料滤清器、流体容器、安全带扣锁、电子钥匙、灯组件、通气管道。
- 电子装置：开关、传感器、数据储存钥匙。
- 医疗用品：过滤器、导尿管、医用服装、医用口罩[8]。
- 包装行业：罩板包装、袋子、管子、储存容器、纸盒喷口[9]。

一些超声波焊接项目的例子以及接合处的设计方法如图 2.3 所示。



图2.3　超声波焊接项目的例子。

2.4　材料

2.4.1　聚合物结构

无定形塑料的分子结构是随机的，且在较宽的温度范围内逐渐软化（见图2.4）；它们先达到玻璃化转变温度，然后变成液体熔融状态；固化过程也是逐渐进行的，所以可以避免过早固化。无定形聚合物可以有效传递超声波振动，它可以在比较宽的工艺状态下进行焊接。利用无定形材料也可以很容易地进行密封[10]。

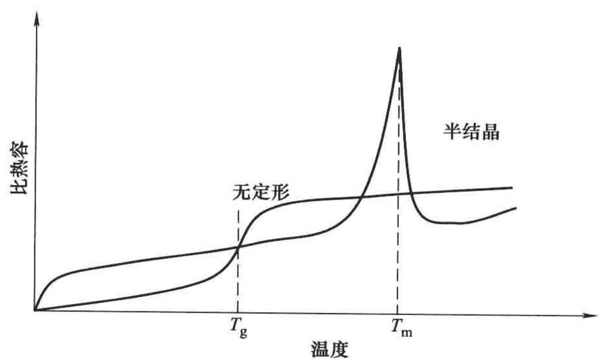


图2.4　无定形聚合物和半结晶聚合物在玻璃化温度（T_g）和熔融温度（T_m）时的比热容（来源：英国焊接研究有限公司）。

半结晶塑料具有有序的分子结构区域，需要很高的热量去破坏其有序的排

列。其熔点（在图2.4中的T_m值）范围很窄，一旦温度稍有降低就会迅速再固化，因此从接合面热区流出的熔体会迅速固化。在固化阶段，半结晶分子像弹簧，吸收大部分的超声波振动，而不是将振动传递到结合面，因此，必须用高的振幅来产生足够的热量用于焊接[10]。

2.4.2 填料与增强剂

在热塑性塑料中使用填料（玻璃、滑石、矿石）可以加强或抑制超声波焊接。一些材料，特别是半结晶材料，加入一些填料如碳酸钙、高岭土、滑石、氢氧化铝、有机填料、硅石、玻璃球、硅酸钙（钙硅石）、云母等，可以增加其合成树脂的刚度，并且当填料量达20%时，可以提高超声波能量的传播能力。当填料量接近35%的时候，对于可靠密封来说，可能在接合面处存在热塑性树脂不足。当填料量达到40%时，纤维聚集在接合面，存在热塑性树脂不足，将会形成一个很牢固的连接。在成型过程中，长玻璃纤维聚集起来，使得能量引导块和基体材料相比含有更高的玻璃含量，这个问题可以通过使用短纤玻璃填料得到消除[7,10,11]。

当填料的含量超过10%时，很多填料中存在的磨粒会引起焊接电极的磨损。建议大家使用淬火钢焊接电极或有碳化钛涂层的焊接电极，也可以通过使用大功率的超声波设备来为接合处提供足够的热量[10]。

2.4.3 添加剂

添加剂通常会增加获得优质焊缝的难度，但是有可能改善基体材料的整体性能和成型特性。典型的添加剂有润滑剂、增塑剂、抗冲改性剂、阻燃剂、着色剂、发泡剂、重磨的聚合物。

内部润滑剂（石蜡、硬脂酸锌、硬脂酸、脂肪酸、脂类）会减小聚合物分子间的摩擦系数，从而减小热量的产生。但是，由于润滑剂的浓度比较小且分散在塑料中而不是聚集在接合面，这种影响一般都比较小[10,12]。

不管是高温有机溶液还是低温熔融固体，增塑剂都会增加其柔顺性和柔软性，并且降低材料的刚度。它们还会降低聚合物中分子间的吸引力，妨碍振动能量的传播。高塑性材料如乙烯基聚合物是很差的超声波传导介质。增塑剂被认为是内部添加剂，但是它们确实会随着时间迁移到表面，使得超声波焊接在实际中无法进行。金属增塑剂比美国食品药品管理局通过的增塑剂更有害[10]。

抗冲改性剂（如橡胶）可以降低材料传播超声波振动的能力，这就需要更高的振幅使材料熔化。抗冲改性剂也可以通过减少接合面的热熔性塑料的量来影响材料的焊接性能[10]。

阻燃剂、无机氧化物或卤化有机元素，如铝、锑、硼、氯、溴、硫、氮、磷等，把它们加进树脂可以阻止燃烧或改变材料易燃的特性。对于大多数阻燃剂来说，它们不能用于焊接。阻燃剂可以占到总材料重量的50%或者更多，这减少了工件中可焊接材料的量。要焊接这些材料，必须使用振幅更高、功率更大的设备，还必须修改焊接处的设计来增加焊接面可焊接材料的量[10]。

大多数着色剂（颜料、染料）对超声波传播无阻碍作用，但是它们会减少接合面的可焊接材料。白色颜料中的二氧化钛（TiO_2）是一种无机物，并且具有化学惰性，当它的使用量超过5%时，可以起到润滑的作用，也会影响焊接性。炭黑会阻碍超声波能量在材料中的传播。使用着色剂要求对工艺参数进行修改[10,12]。

发泡剂会降低树脂传递能量的能力。对于密度不同的材料来说，其结构中的空穴会阻断能量的传播，进而降低到达焊接区域的能量值[10]。

对含有大量或不定量重磨聚合物的焊接材料，需要认真评估。很有必要对焊接工件材料中的重磨聚合物质量和体积进行控制，以达到最优焊接。有些情况下，需要100%纯度的材料。

2.4.4 脱模剂

外模脱模剂或分模剂（硬脂酸锌、硬脂酸铝、碳氟化合物、硅氧烷）用在型腔表面（一般是用喷雾的方法），提供一层易于分离工件的脱模涂层。脱模剂会转移到接合面，降低焊接材料的摩擦系数，进而影响接合面生热的速度，阻碍熔化表面的融合。另外，脱模剂引起的树脂化学污染会阻碍形成充分连接，其中硅氧烷的危害最严重。外模脱模剂有时可以用溶剂去除，如果非要用外模脱模剂的话，涂饰或印刷级别的脱模剂不会转移到成型部分，但是一定要防止树脂弄湿模具表面，这种脱模剂对超声波焊接的破坏程度是最小的[10,12]。

2.4.5 材料等级

不同等级的同种材料可能会有不同的流动速度和不同的熔点。如果一个工件熔化且开始流动，但另一个没有，就不会形成结合。例如，铸塑等级的腈纶比注射等级或挤压等级的腈纶有更高的相对分子质量和熔点，且更脆，因此它们更难焊接。总之，要焊接在一块的材料应当有相同的熔流速度（熔流速度可以表征相对分子质量的多少），彼此熔点相差不能超过22℃（40℉）。为了得到最好的结果，应该焊接同样等级的树脂[10,12]。

2.4.6 湿度

一种材料的湿度会影响其焊接的强度。易吸湿材料如聚酯、聚碳酸酯、聚砜，特别是尼龙，可以从空气中吸收水分。当它们用来焊接时，吸收的水分在100℃（212℉）下会沸腾，包裹在里面的气体将产生很多气孔，这将降低接合面的塑性，导致表面外观差，接合力弱，且很难达到密封效果。为了得到最好的效果，这样的材料一旦成型后就要马上进行焊接。如果无法做到，工件刚成型就应当装入干燥的聚乙烯袋子里，在焊接之前应当用专门的热炉干燥工件，但是要注意材料不要被加热降解。

2.4.7 不同材料的焊接

当焊接不同的材料时，两种材料的熔点相差不能超过22℃（40℉），两种材料的分子结构也应当相近。当焊接熔点差别太大的焊件时，低熔点材料先熔化和流动，阻止了能足够熔化高熔点材料的热量的生成。例如，如果将一个高熔点的腈纶焊接到一个低熔点的腈纶材料上，且能量引导块成型在高熔点的工件上，那么低熔点的工件就会在能量引导块之前熔化和流动，这样，得到的焊接强度会很差。只有化学上有相同分子团的相容材料才可以焊接。只有一些无定形的塑料或含无定形塑料的共混物才会有相容性。典型的例子如丙烯腈—丁二烯—苯乙烯（ABS）和腈纶、聚碳酸酯（PC）和腈纶、聚苯乙烯和改性的聚苯醚（PPO）。半结晶聚丙烯（PP）和聚乙烯（PE）有很多共同的物理性质，但化学上并不相容，所以无法进行超声波焊接[5,10,13]。

表2.1所示为一些用于超声波焊接的热塑性材料的相容性。

表 2.1 用于超声波焊接的热塑性材料的相容性（来源：英国焊接研究有限公司）

材料	ABS	ABS/PC	聚甲醛	丙烯酸类树脂	醋酸纤维素	ECTFE	LCP	PA	PES	PPO	PC	PC/聚酯	PBT	PET	PEEK	PEI	PE	PPS	PP	PS	聚砜	PVC	PTFE	PVDF	SAN
ABS	■	■		■																○					○
ABS/PC	■	■		○							■	○													
聚甲醛			■																						
丙烯酸类树脂	■	○		■							■	○													○
醋酸纤维素					■																				
ECTFE						■																			
LCP							■																		
PA								■																	
PES									■																○
PPO										■	○									■					
PC		■		■						○	■	○													
PC/聚酯		○		○							○	■	○												
PBT												○	■												
PET														■											
PEEK															■										
PEI																■									
PE																	■								
PPS																		■							
PP																			■						
PS	○								■											■					○
聚砜																					■				
PVC																						■			
PTFE																							■		
PVDF																								■	
SAN	○			○					○											○					■

注：■表示完全相容；○表示部分相容。

2.5 设备

超声波焊接设备由电源，含有用于增减振幅的增益器的转换器，一个焊接电极，用于支撑和找正焊接工件的夹具或嵌套机构和一个含有转换器、增益器、焊接电极和气动控制的致动器所组成（见图2.5）。

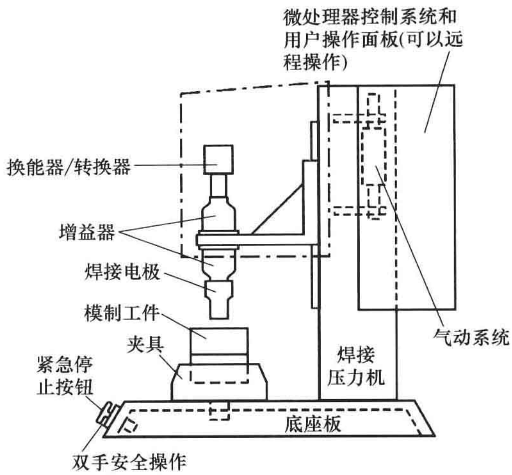


图2.5 一种超声波焊接机的组成（来源：英国焊接研究有限公司）。

2.5.1 电源/高压发生器

电源/高压发生器将50~60Hz的线电压转换成期望频率（典型的为20kHz）的高压电信号。电源/高压发生器一般包括一个内置控制模块，用来进行焊接参数和其他功能的设置。

电源可使用不同级别的过程控制，包括从最基础的控制单元到微处理器控制单元。功率输出范围为100~6000W。控制器可以在恒频率下或者在新模式下操作，振幅可以在焊接过程中以阶梯方式或轮廓方式瞬时变化。致动器使焊接电极与待焊接的工件接触，施加压力，当焊接完成时使焊接电极退回。

2.5.2 换能器

换能器也称为转换器，是超声波焊接系统的关键组件。换能器是将高压电发生器的电能转换为用于焊接过程的机械振动的装置，其结构如图2.6所示。

换能器由一定数量的加在两个金属板之间的压电陶瓷片（锆钛酸铅，PZT）组成，金属板一般是钛。在每一片之间有一个薄薄的金属片作为电极，当正弦电信号通过电极进入换能器时，薄片就伸缩。振动的频率范围为15~70kHz，在超声波焊接中最常用的频率是20kHz或40kHz。振幅或峰-峰幅值即为转换器在机械振动过程中前后移动的距离。20kHz的转换器，振幅为20μm（0.008in）；40kHz的转换器，振幅为9μm（0.00035in）[12,14]。

由于压电陶瓷薄片拉伸时力学性能比较差，所以在设备的中心穿过一个螺栓，对薄片施加一个预紧压力，以保证当薄片伸缩时保持受压，也就是具有一个机械偏置量。

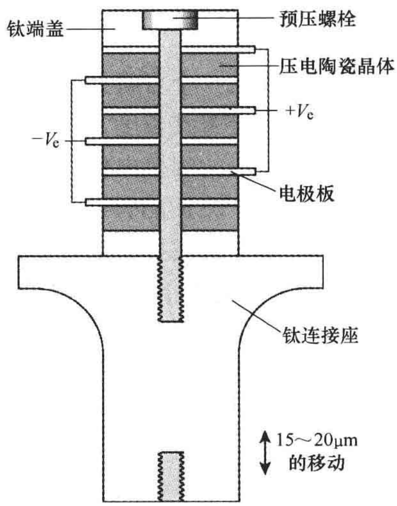


图2.6 超声波换能器的示意图（来源：英国焊接研究有限公司）。

2.5.3 增益器

增益器也叫增益角、阻抗变换器、变幅器，是安装在换能器和焊接电极之间的加工件，它可以把来自换能器的超声振动传到焊接电极上。增益器的主要目的是增大产生于换能器端

部的机械振动，次要目的是提供一个安装点，将焊接堆叠组件（换能器/增益器/焊接电极）连接到致动器。

改变振幅的增益器，其中心线或节点两边的质量不同（见图2.7）。当质量小的一端连接到焊接电极时，振幅增加；相反，当质量小的一端连接到转换器时，振幅减小。振幅增减量的大小和质量差成比例，用增益比来表示。增益比经常标在增益器上或用彩色码来表示（见图2.8）。

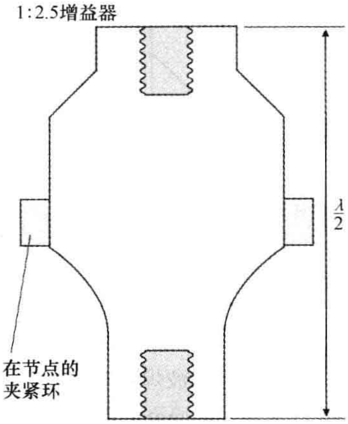


图2.7 1∶2.5增益器的示意图（来源：英国焊接研究有限公司）。

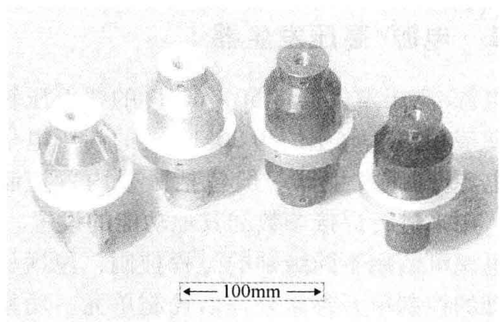


图2.8 超声增益器的示例（来源：英国焊接研究有限公司）。

围绕中心线（节点）的一个金属环用作连接致动器的夹紧点，通过该点，把负载从焊接压力机传递到被焊接件。

2.5.4 焊接电极

焊接电极是一个可将机械振动传递到工件的声波工具，是按应用要求专门定制的。焊接电极的分子会沿着其长度方向伸缩，所以焊接电极会随着振动频率伸缩。焊接电极的振幅取决于和工件接触的焊接电极面的最远点和最近点之间的移动量（如峰—峰移动）。焊接电极专门设计为半个波长的长共振梁。通过改变焊接电极的横截面形状，可以给它一个增益系数，来增加焊接电极接受来自于换能器—增益器组件振动的振幅。三种常用的焊接电极设计如图2.9所示，包括台阶式、指数式和悬链曲面式。

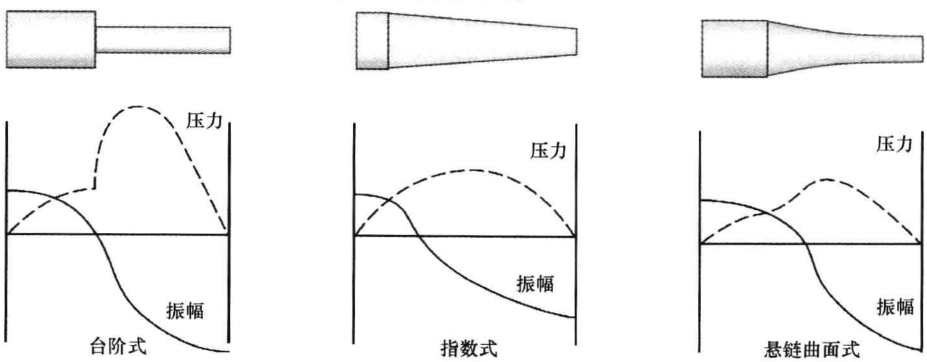


图2.9 台阶式、指数式和悬链曲面式焊接电极轮廓（来源：英国焊接研究有限公司）。

台阶式焊接电极由横截面积不同但形状一致的两部分组成，两部分之间的过渡区在节点附近。由于节点平面横截面的突变，台阶式焊接电极在这一区域有很高的应力集中，如果驱动振幅过大会导致破坏。增益系数在9∶1以下的话可以用台阶式焊接电极。

指数式焊接电极的横截面面积随着长度的变化以指数形式变化。平稳过渡段将压力分布在很长的一段上，这样压力集中要比台阶式焊接电极产生的小。它一般只能获得比较小的增益系数，因此用于受力小、振幅低的场合。

悬链曲面式焊接电极在台阶式焊接电极的基础上，于通过节点处加了更多的逐步过渡圆弧。它可以在低的应力集中的前提下得到高的增益系数。

大的焊接电极［一般直径或宽度大于90mm（3.5in）］都加了槽来减少水平振动引起的应力分布。这些槽实际上是将大焊接电极分成单独的小焊接电极，来保证在焊接电极表面得到一致的振幅，并且减小内部应力（见图2.10）。

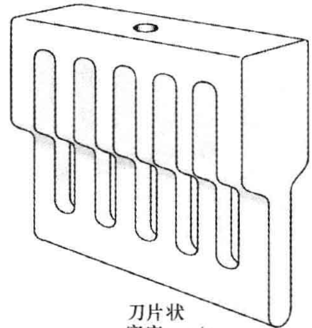


图2.10　带槽的焊接电极
（来源：英国焊接研究有限公司）。

在同时发生多种焊接操作的应用场合，可以使用综合焊接电极。综合焊接电极是在一个圆形或矩形（半波长）的大底座上，安装的半波长焊接电极（通常为台阶式或圆形）。重要的是，焊接电极在声学上应当均衡和对称。

具有轮廓形状的焊接电极是通过在任何标准形状的焊接电极的接触面上铣削有特定工件的轮廓形状得到的。其焊接电极的轮廓形状由工件廓形通过仿形铣削或CNC数控铣削获得。必须把焊接电极当做一个精密的音叉，其形状应当尽可能地均衡和对称。

焊接电极材料一般是高强度的铝合金、钛或淬火钢。铝是容易加工的低成本材料，它有优良的声学特性，因此将其用于焊接大型工件或用来制作原型焊接电极和加工要求比较复杂的焊接电极。铝由于其表面硬度和疲劳强度差，可能不适合长期生产应用。但是它可以经表面涂镀铬或镍来缓和这些问题。

钛具有很好的表面硬度、疲劳强度和优良的声学特性，但昂贵，且不易加工。钛也可以通过碳涂层用于高耐磨的场合。

由于疲劳强度低，钢制焊接电极只能应用于低振幅。像在超声金属嵌件和焊接玻璃填充材料这样的高磨损应用中，钢焊接电极是可以满足要求的。

好的焊接电极设计是成功焊接的关键，焊接电极作为精密元件，只有那些熟练于声学设计和测试的专家才能制造。

2.5.5　致动器

致动器上面安装有换能器、增益器和焊接电极组件（也称为堆叠组件）。其最首要的目的是降低或升高堆叠组件，并且为工件提供可控的、重复性的压力。

2.5.6　夹具

工艺要求夹具将工件对正，并在焊接中稳定夹持工件。各工件必须以焊接电极端部为基准，对正固定，这样在焊接过程中才能保持工件间压力一致，保证工艺的可重复性。夹具稳

定夹持工件可有效地传播超声波能量。弹性夹具和刚性夹具是两种最常见的类型。

刚性夹具（见图2.11）一般是用铝或不锈钢制造的，它一般用于夹持半结晶性材料或是焊接柔性材料，也可用于超声波嵌入、铆焊、定位焊、模锻。弹性夹具（见图2.12）一般比刚性夹具制造成本低，通常用浇注的聚氨酯制造，主要用于焊接刚性无定形材料。弹性夹具一般不会划伤工件，但是会吸收更多的能量[5,15]。

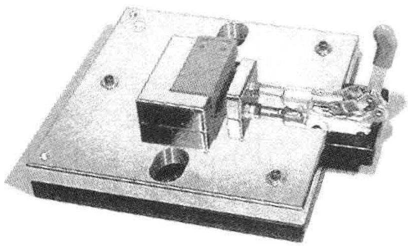


图2.11 有铰接夹具装置的刚性超声波支撑件（来源：布兰森超声波公司）。

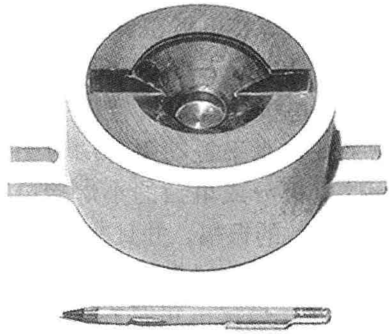


图2.12 弹性夹具（来源：布兰森超声波公司）。

具有弹性材料直线花纹的夹具，可以调节一些模制工件的平面度或厚度的变化，否则，这些变化会限制焊接的一致性。橡胶条或是铸塑、固化的硅橡胶允许工件在正常静载下在夹具中对中，但是效果和在高频振动下的刚性束缚一样。一条橡胶衬里也有助于吸收会引起工件上远离焊接区域处破裂和熔化的随机振动。PTFE、环氧树脂、软木和皮革都已经被用做阻尼材料[15]。

对于夹具来说，易于装卸和顶出的特性是需要特别考虑的。

2.5.7 控制

配有微处理器控制系统电源的超声波焊接机能够按时间模式（开环控制）或者按能量或峰值功率模式（闭环控制）操作。按时间模式操作，其超声波能量可通过设定特定时间来利用；按能量或峰值功率模式操作，将监控整个焊接循环中的功率变化，当达到特定的功率或能量水平时，终止超声波振动。用于新机器的其他焊接模式包括焊接到（焊接电极移动的）预设位移或距离，或焊接到某一固定的完工工件的高度[16]。

对于微处理器控制系统来说，可以实现对所有工艺参数进行视频监控，只要对监视质量控制的焊接参数和特征（产品计数、不合格产品计数、故障指示）加以编程即可。装有微处理器控制系统的焊机可进行自我诊断、实现自动化或集成到外部的生产线中[7,12,13]。

2.5.8 机器种类

针对不同的使用范围，有一系列不同结构的焊接机可供选用。一种集成的焊接机（见图2.13）包括集成于一体的所有设备，一般只要求连接压缩空气和电源就可以操作。这种机器最常用于手工装卸工件的焊接。一个组件系统由可互换电源、致动器和基座组成，可适用于各种特殊要求。一种手持系统（见图2.14）由电源和转换器组成，专门设计用来手持

操作，适用于对外观和一致性不是特别重要的简单应用场合，例如薄片的定位焊。电源包括所有的控制和监测设备，不包括安装在转换器上的手动开关。

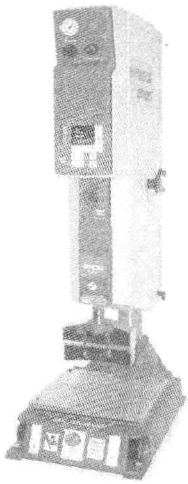


图 2.13　集成超声波焊接机（来源：布兰森超声波公司）。

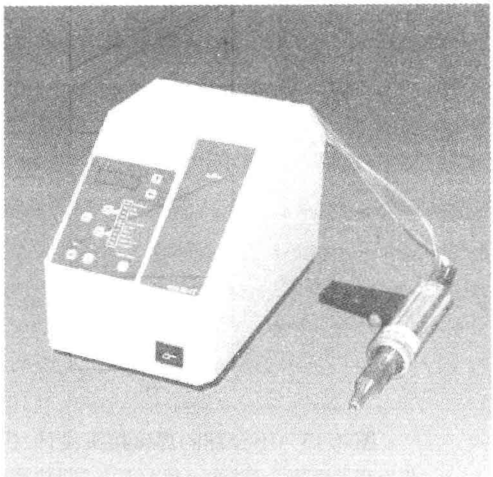


图 2.14　手持超声波焊接系统（来源：布兰森超声波公司）。

集成单元或者包括电源和致动器的组件系统（不包括工装），其成本一般为 12000 ~ 60000 美元。

2.6　焊接接头设计

在工件设计阶段早期就必须考虑焊接接头设计的选择。产品设计者在选择产品所需要的焊接接头的类型前，需要提出以下问题：

- 所用的是什么材料？
- 安装的最终要求是什么？
- 需要结构连接吗，需要承受怎样的载荷？
- 有无密封要求？
- 装配时的外观要求是什么？
- 是否需要除去内部或外部焊瘤？

在超声波焊接中焊接接头设计对于取得最佳焊接效果至关重要，这取决于热塑性塑料的种类、工件几何构型、用户要求。对超声波焊接的设计，应当使得焊件之间的最初接触面积较小，以便集中超声波能量，减少总的熔化时间。相配合的焊件彼此应当对中且紧密接触，但是不能影响相互之间的自由振动，这样才能得到焊接所需要的摩擦效果。焊件配合面应当一致，而且和焊接电极的接触表面应当足够大，防止振动过程中配合面陷进塑料里[5,17]。

为得到理想焊接，焊接交界面必须在与焊接电极的接触面平行的单个平面内，这样超声波能量才能经过同样的距离到达所有焊点，从而得到一致的焊缝。另外，和焊接电极接触的工件表面应当在与焊接交界面平行的单个平面内。一些不合理的焊接接头设计如图 2.15 所示。

平整的、平行的配合面对密封设计特别重要，对于无定形材料来说，密封更加容易实现[5,17]。

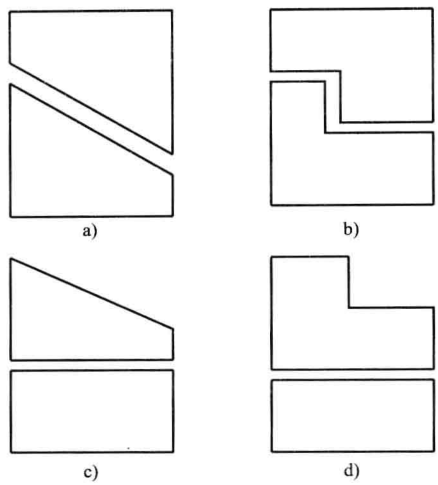


图 2.15 不合理的焊接接头设计（来源：英国焊接研究有限公司）。
a）焊接交界面是单个平面，但和焊接电极的接触表面不平行 b）焊接交界面不是单个平面
c）焊接电极接触面和焊接交界面不平行 d）焊接电极接触面不是单个平面

2.6.1 能量引导块

能量引导块是模制在一个焊缝表面的三角形突起（见图 2.16）。在焊接过程中，能量引导块的顶点在极大的压力下与另一焊件接触，产生摩擦导致熔化，熔化了的能量引导块流到焊缝交界面，完成接合。能量引导块非常适合于无定形材料，因为无定形材料的流动和固化都比较缓慢；而半结晶材料用能量引导块得到的焊缝强度不够高。能量引导块保证了刚好熔化一定体积的材料来形成好的接合强度，而不出现多余焊瘤，这样就不需要做焊件对齐或控制焊瘤的其他组件了。

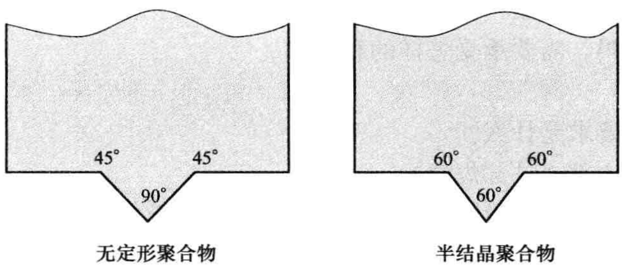


图 2.16 用于无定形和半结晶材料的能量引导块（来源：英国焊接研究有限公司）。

一般建议，对大多数无定形材料，能量引导块的顶部角度做成 90°，高度应为底部宽度的 50% ~ 65%，高度范围是 0.127 ~ 0.762mm（0.005 ~ 0.030in），宽度范围是 0.254 ~ 1.53mm（0.010 ~ 0.050in）；对半结晶材料，顶部角度推荐做成 60°，高度为底部宽度的 85%。底部宽度范围为 0.254 ~ 1.27mm（0.010 ~ 0.050in）。

对于半结晶材料来说，其能量引导块的角度越陡，顶点越尖，在焊接的初期会导致能量引导块的一部分嵌入配合件表面，从而减少过早固化和暴露于空气而引起的降解。这样可以

得到更高的接合强度，同时提高了密封接合的几率。这种设计也提供了聚碳酸酯和丙烯酸酯焊接的优化结果[5]。

能量引导块使用了不同的焊缝设计，而对接焊缝（见图2.17）是一种最简单、最常见的设计。因为对接焊缝无法自动找正，因此需要夹具对工件找正。无定形材料的密封可以使用对接焊缝，只要配合表面之间相当平整即可。半结晶聚合物对接焊缝很难形成密封，因为在焊接过程中熔体是暴露在空气中的，这样会加速结晶作用并且引起熔体的降解，产生质脆的焊缝[5,14]。

对有能量引导块的焊缝设计进行修改，即在与能量引导块相对的焊接面上模制很多小的表面凸点（见图2.18），形成网纹表面，一般深0.0765～0.152mm（0.003～0.006in），它通过限制能量引导块的左右移动来加强表面摩擦力，同时网纹形成的峰谷屏障可以限制熔体，不让它流出焊接区域。这样的设计减少了焊瘤，同时焊接接触面积大，有利于接合。这种有网纹焊接面的焊缝强度可能将近三倍于无网纹焊接面的焊缝强度，同时，也减少了焊接所需的总能量[18]。

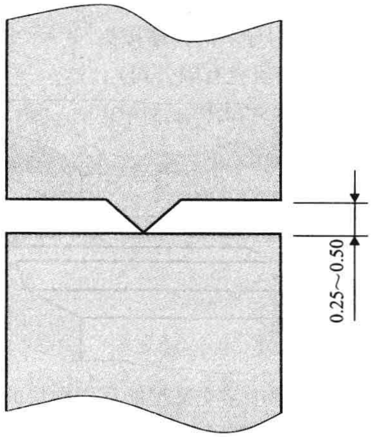


图2.17　有能量引导块的对接焊缝（来源：英国焊接研究有限公司）。

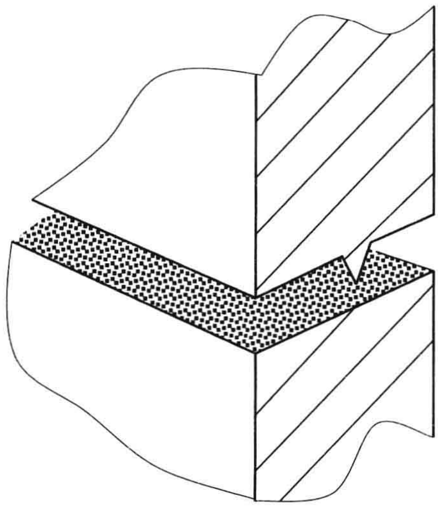


图2.18　配合零件上有纹理刻痕的引导块（来源：英国焊接研究有限公司）。

有能量引导块的阶梯形接头（见图2.19）消除了焊缝外部的焊瘤，当焊缝外观很重要时，这种焊缝设计很有用。产生的焊瘤流进焊缝接头中的间隙或是凹槽，这个凹槽要比凸台深一点，宽一点。此设计可以得到剪切强度和拉伸强度比较好的焊缝。由于只有这一部分侧壁形成接合，所以有时候认为阶梯形接头的接合强度比有能量引导块的对接焊缝低些。其推荐的最小壁厚为2.03～2.29mm（0.080～0.090in）[5,14]。

凹槽的深度应当比凸台的高度大0.13～0.25mm（0.005～0.01in），在焊接好的焊件里会留下一个小小的空隙。这样做是为了美观的目的，所以当焊接表面不是相当平整或者工件表面不是相当平行的话，也不会很明显。凹槽的宽度应当比凸台的宽度大0.05～0.10mm（0.002～0.004in），在完工焊件上留下小小的空隙。

榫槽接头（见图2.20）中，熔体被完全封在了焊缝的凹槽中，这个凹槽要比凸台宽

0.05～0.10mm（0.002～0.004in）。当外观比较重要的时候，可以用这种设计防止焊瘤的产生，同时可以找正工件，不需要额外的夹具。这种焊缝可以生产低压密封件。这种焊缝要求的紧公差配合使得模制工件更加困难，必须要很大的壁厚。最小壁厚是3.05～3.12mm（0.120～0.125in）。能量引导块的尺寸与对接焊缝使用的一样[5,17]。

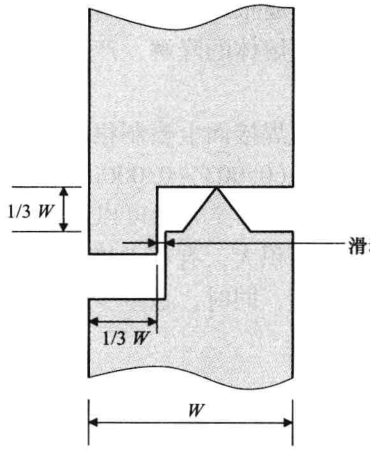


图2.19　有能量引导块的阶梯形接头（来源：英国焊接研究有限公司）。

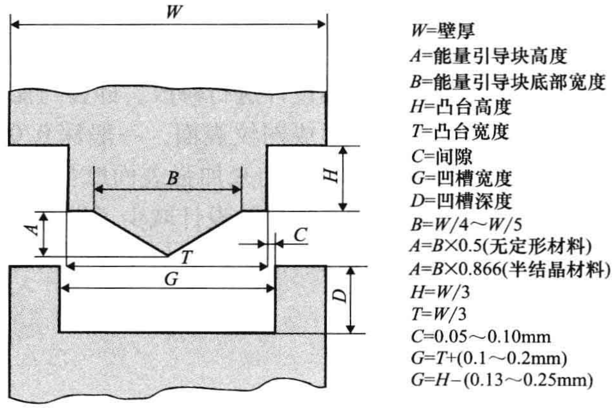


图2.20　有能量引导块的榫槽接头（来源：英国焊接研究有限公司）。

其他有能量引导块的焊缝设计都不常见。在十字交叉焊缝（见图2.21）中，配合面的两面都有能量引导块，并且互相垂直。这种设计在焊接中可提供最小的初始接触面积和更大的熔融材料体积。这种能量引导块的尺寸应当为标准设计尺寸的60%。

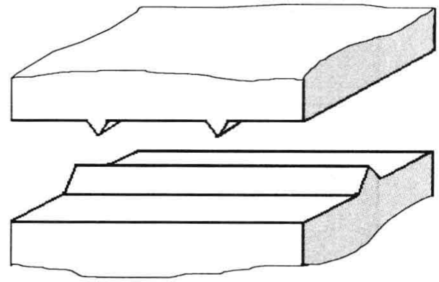


图2.21　十字交叉型能量引导块的设计（来源：英国焊接研究有限公司）。

锥台设计（见图2.22）减少了焊接总面积，所需能量消耗和焊接时间也相应减少。它需要产生的热量最少，对于防止收缩很重要，但是也导致结构强度变低。

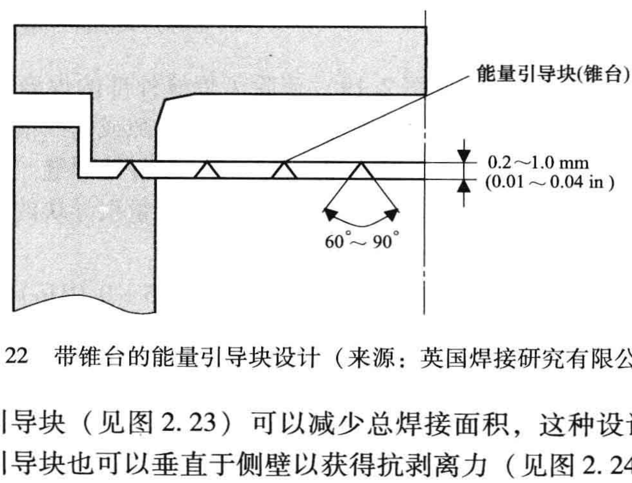


图2.22　带锥台的能量引导块设计（来源：英国焊接研究有限公司）。

断续性的能量引导块（见图2.23）可以减少总焊接面积，这种设计消耗能量少，可得到结构焊缝。能量引导块也可以垂直于侧壁以获得抗剥离力（见图2.24）。

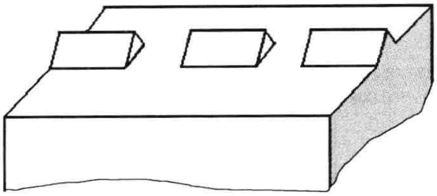


图 2. 23 断续性的能量引导块（来源：英国焊接研究有限公司）。

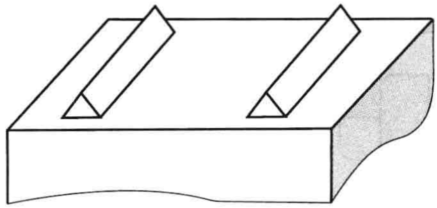


图 2. 24 与焊接交界面垂直的能量引导块设计（来源：英国焊接研究有限公司）。

2.6.2 剪切接头

剪切接头（见图 2. 25）用来焊接熔点窄而尖的半结晶性材料。结晶性材料的能量引导块用处不大，因为能量引导块熔融流动的材料，在其能够在接合面上流动并且形成焊缝之前，就开始降解或者再结晶了。在焊接过程中，首先熔化的是剪切接头上最初接触的小区域，然后随着工件之间距离的缩短，熔化过程沿垂直的侧壁继续，这种互相挤抹的熔化焊接方式避免熔体暴露于空气和过早固化，可以得到很强的密封效果。必须用刚性侧壁支撑来防止焊接过程中出现挠曲。焊缝的上端应当尽可能薄，和盖子差不多，但结构必须完整，能经得起内部的翘曲。剪切接头可以进行工件找正，保证一致的接触面积[5,17]。

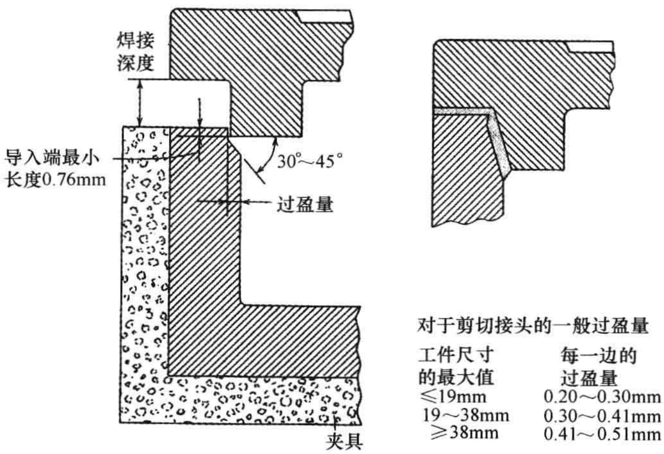


图 2. 25 剪切接头设计。

使用半结晶材料剪切接头时需要很高的能量，因为熔化面积比较大，熔化所需的能量也多。这要求很长的焊接时间（比其他焊接方式长 3 ~4 倍），或很大的焊接功率（2000W 换成 3000W）和很大的振幅。剪切接头对于圆柱形工件很有用，但是对于矩形工件来说焊接效果不好，因为侧壁的振荡方向往往垂直于焊缝的轴向；对于有圆周应力的扁圆形工件来说，其焊接效果也不好。对于有方角或直角设计的工件来说，用剪切接头生产密封件，可以得到很高的焊接强度，但是焊接之后会在上表面产生可见的大量焊瘤[17,19]。

针对大工件或者对于上部工件太深、太柔软的情况，剪切接头做了修改（见图 2. 26）。当无法接受焊瘤时，可在剪切接头设计中设计焊阱（见图 2. 27）。

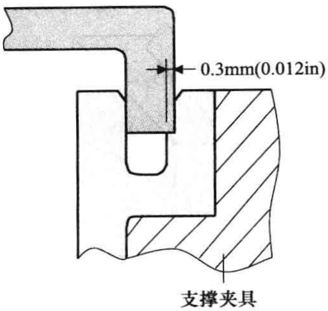


图 2.26 剪切接头在大工件焊接中的修改（来源：英国焊接研究有限公司）。

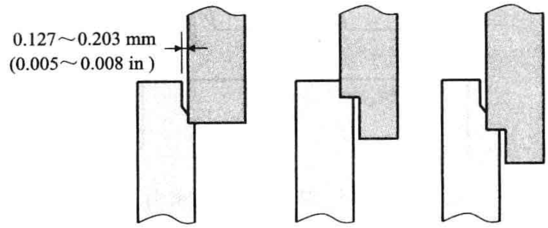


图 2.27 设计了焊阱的剪切接头的修改（来源：英国焊接研究有限公司）。

2.6.3 设计工件时需要考虑的问题

由于尖角拐角存在应力集中，所以当使用超声波焊接时，有尖角拐角的工件会出现断裂或熔融。附件、定位件或其他突起部分也存在应力集中，可能在焊接过程中脱落。为了避免这种情况，应当在所有的拐角和边缘，以及在附件和主焊件接合的区域做圆角。为了进一步减小附件的应力，推荐使用 40Hz 的频率，减小压力，或者使用更厚的附件。

能量在孔、间隙、弯角等的周围传递效果差，几乎没法在这些区域直接焊接，这主要取决于焊件外形尺寸和材料种类。有可能的话，应当除去所有的尖角、弯角和孔。

薄的、扁的、圆形工件在焊接中可能会弯曲或变成“振动膜”。当接触工件时，焊接电极可能会上下弯曲（“铸板凹陷”效应），由于弯曲而产生的剧热会引起焊接电极熔化或者把材料烧穿出洞。对薄片引起的振动一般发生在工件的中心或者浇口区域，把这些区域做厚些，可能会阻止这种情况发生[5]。

2.7 焊接参数

超声波焊接中重要的工艺参数是焊接时间（超声波振动时间）、焊接压力、保持时间（振动停止后允许冷却和固化的时间）、保持压力、预置压力（在超声波振动开始之前加载于工件上的力）、功率、振动的振幅。在超声波振动启动之前，必须将焊接电极正确地与上部工件接触，如果振动开始之后焊接电极才接触工件就会导致焊接无法成功进行。

2.7.1 频率

在 20 世纪 80 年代之前，大多数超声波焊接设备使用频率为 20kHz；现在，除了对于半结晶材料使用低频（15kHz）外，一般使用设备频率为 30kHz 和 40kHz。高频设备的优点如下：噪声小、组件尺寸小（40kHz 的焊机工装尺寸是 20kHz 焊接组件尺寸的一半）、由于循环应力减小而使工件的防护能力增强、焊接交界面之外的区域一同加热、机械能的控制得到改善、焊接压力减小、工艺速度提高。其缺点如下：由于组件尺寸小因而功率容量低，由于振幅小因而难于进行远区焊接操作。高频超声波焊接机一般用于像电器开关这样的小型、精细组件场合[7,13,20,21]。

大多数热塑性材料使用 15kHz 的焊机焊接，在大多数情况下，要比 20kHz 的焊机更快，材料的降解更少。少量的工件在 20kHz 焊接，但那些高性能的工程塑料可以在 15kHz 得到

有效的焊接。在这样的低频下，焊接电极具有更长的共振波长，其各项尺寸可以做得更大些。使用15kHz频率的另一个重要的优点在于超声波通过热塑性材料的衰减大大减少，允许焊接许多软性塑料，且远区焊接距离比使用高频焊接的更大[22]。

2.7.2 焊接时间

焊接时间是指每个焊接周期内焊接电极振动的时间长短，一般和焊接电极实际接触工件的时间相同。每次应用的准确时间取决于反复试验的结果。增加焊接时间直到达到最优时间之前，焊接强度一般也增加；再增加焊接时间，就会导致焊接强度的降低或者只能微弱地增加焊接强度，同时会增加焊瘤以及有可能留下焊纹。

2.7.3 焊接压强/压力

焊接压强用以提供必要的静态压力来连接焊接电极和工件，从而将振动引导到工件上面。此静态压力保证工件在焊接循环的“保压”阶段熔融材料固化时，工件能连接在一块。最优压力的设定对优质焊接至关重要。

焊接压强如果太低会引起能量传递质量差或者熔体流动不完全，最终导致焊接循环时间变长。为得到同样的焊接位移，增加焊接压力或压强会降低必要的焊接时间。如果压力太高，过多的熔体就会使得分子按熔流方向取向，影响焊接强度，也可能形成焊纹。在极端情况下，如果和焊接电极顶端振幅相关的压力太高，会导致超载使得焊接电极陷入工件中。

大多数超声波焊接是在恒定的压强或压力下进行的。在一些系统中，焊接循环中焊接压力可以改变。在压力分布图中，焊接压力随着超声波能量传入工件中时间的增加而降低。在焊接周期后期，压强或压力降低，从焊缝中挤出来的料量减少，更多时间留给分子扩散，减少了分子的取向，增加了焊接强度。像聚酰胺这样的材料，其熔融粘度低，这将极大地改善焊接强度。

2.7.4 振幅

在使用能量引导块的超声波焊接中，平均加热速率（Q_{avg}）取决于材料的复杂损耗模量（E''）、频率（ω）和材料应变（ε_0）：

$$Q_{avg} = \omega\, \varepsilon_0^{\,2} E''/2$$

热塑性塑料的复杂损耗模量极大地依赖于温度，因此，当熔化或接近玻璃化温度时损耗模量增加，会有更多的机械能转化为热能。当加热开始后，焊接交界面的温度迅速上升（超过1000℃/s或是1800℉/s）[23]。

所受的应力和焊接电极的振幅成比例，所以焊接交界面的加热可以通过改变振幅的方式控制。振幅是控制热塑性塑料挤压流速的重要参数。当振幅比较大的时候，焊接交界面加热速率比较快，温度增加，熔化的材料的流动速率也比较快，导致分子的取向增加，产生严重的焊瘤，降低了焊接强度。在最初的熔化过程中高的振幅是必要的，振幅太低会导致熔化不均匀和熔体的过早固化[23]。

当振幅增加时，大量的振动能量耗散到热塑性材料中，焊件受到很大的应力。在整个焊接周期中使用恒定的振幅，其使用的最高振幅不能够对工件引起任何破坏。对于像PE和PP这样的半结晶聚合物来说，受振动幅度的影响要比像ABS和聚苯乙烯这样的无定形聚合物

要大。这很可能是由于半结晶聚合物熔化和焊接时需要更多的能量的缘故。

振幅可以通过改变增益器或焊接电极进行机械式调节，或者通过改变提供给转换器的电压实现电气式调节。在实际使用中，对大的振幅进行机械式调节，而对细微调节是进行电气式调节的。高熔点材料、远区焊接和半结晶材料，一般比无定形材料和近区焊接需要更高的振幅。

无定形塑料，振幅的峰-峰值一般为 30 ~ 100μm（1.2 ~ 3.9mil）；结晶性塑料，振幅峰-峰值一般为 60 ~ 125μm（2.4 ~ 4.9mil）。

在焊接循环中减小振幅可得到优质的熔体流动特性和一致的、较高的焊接强度。

结合振幅和压力分布图分析，高的振幅和压力用于最初熔化阶段，然后降低振幅和压力以减少分子沿接缝的取向。

2.7.5 工艺过程控制

现在大多数超声波焊接机具有完全可编程控制、完全微机控制的特点，以编程和监控所有的焊接参数。一些机器甚至能每隔一毫秒监测和调节整个工艺。控制器每秒可进行 1000 次的实时焊接测量值的参照，提供真正的质量控制。时间、能量或距离焊接模式都可以通过控制器来选择。

按时间焊接是最基本的操作模式。将工件提前装在夹具中，使焊接电极接触上部工件，这时，按设定时间启动超声波。在两个循环之间进行功耗检测，这可以说明焊接质量的好坏，检测值如果超过某一范围，报警信号就会警告一个潜在的焊接缺陷。

按能量焊接模式基于闭环控制，即机器可以检测焊接循环过程的耗能，当设定的能量传输完毕时，就终止焊接。

在按距离焊接的模式中，安装在致动器上的一个线性编码器可以精确测量焊接塌陷或焊接电极移动的总距离，使得组件按照特定的焊接深度进行接合。这个模式的操作与时间和能量无关，且可以补偿模制工件的任何公差变化，很好地保证了每次焊接时熔化相同量的焊缝材料。

2.8 特殊超声波焊接

2.8.1 超声波定位焊

超声波定位焊通过焊接局部点来连接两个热塑性工件，不再使用预留孔或能量引导块。它可以形成很坚固的结构焊缝，特别适合于大型工件或者有复杂几何外形的工件，或者是难以接触的接合面。定位焊适用于挤压的或铸塑的热塑性塑料片材，通常用于真空成型工件，比如吸塑包装（包装袋）。

在定位焊中，焊接电极有个引导尖端，当施加超声波振动时，从顶部工件往底部工件熔化，一直到预设深度。当振动停止时，两个工件的熔体流到一起形成焊缝，同时，焊接引导尖端在顶面产生一个隆起的环（见图 2.28）。定位焊焊缝的最底层外观平滑。定位焊可以使用手持式焊枪或者单头或双头的台式焊机，也可以使用由许多定位焊头组成的可同时进行多个焊接操作的“群焊”系统[5,7,12,24]。

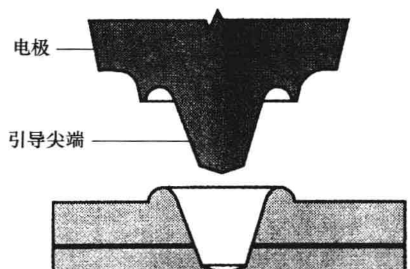


图 2.28 超声波定位焊。

定位焊的指导原则如下：在定位焊区域的正下方要有刚性支撑以防止产生焊纹；用中等振幅或高振幅以保证足够的材料渗透深度；用低压以保证在焊缝交界面有足够的熔体。

2.8.2 织物和薄膜的超声波焊接

用在医疗、包装和纺织工业中的织物和薄膜，都可以用超声波能量焊接。在这里介绍一下连续性超声波焊接和投入式焊接。

在连续性超声波焊接中（见图2.29），将两层或多层材料穿过振动焊接电极和滚筒（或滚轴）之间的空隙。滚筒通常是由淬火钢制造的，在它上面加工了一组隆起部。在焊接电极和滚筒之间的超声波振动和压缩力会在焊接电极接触材料的部位产生摩擦热。粘接只发生在这些点上，使连接处的材料具有柔软、透气及吸收性好的特征。这些性能对于病号服、无菌服、尿布及其他在家居清洁卫生和医疗方面的应用都相当重要。超声波焊接比起用加热的滚筒将材料粘接在一起的热粘合方法所用的能量要少。

在投入式焊接工艺中，将材料固定于某一位置，用超声波焊接电极间歇性地接触材料（见图2.30）。不管是焊接电极接触面还是滚筒上都会有一定的图案来聚焦超声波能量并产生熔体。焊接电极也适合于进行“切割—缝合”的操作。典型的投入式焊接的应用包括过滤器、捆扎带、皮带扣、腰带环、胸罩带和垂帘。

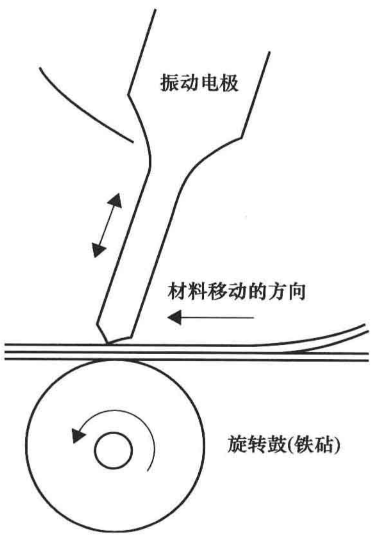


图2.29 超声波焊接。

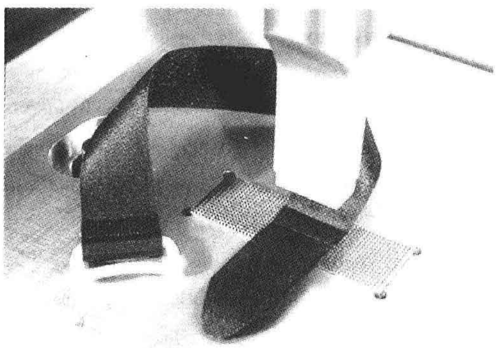


图2.30 织物的投入式焊接（来源：布兰森超声波公司）。

最适于超声波焊接的织物和薄膜包括有相似熔点和相容结构的热塑性材料，其有利的特性包括厚度均匀、摩擦系数高、至少含有65%的热塑性塑料。材料的实际结构对焊接性也有重要影响。热塑性织物和薄膜的主要种类包括编织物、无纺布、针织品、薄膜、涂层材料和层压板材，像纱线密度、编织松紧度、弹性和针织类型这些因素都可能对超声波焊接的成功造成影响。

由聚酯、尼龙、聚丙烯、聚乙烯制造的热塑性塑料织物和薄膜都适用于超声波焊接

工艺。

参考文献

[1] Benatar A, Cheng Z: Far-field ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

[2] Benatar A, Gutowski TG: Ultrasonic welding of thermoplastic components. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

[3] Stokes VK: Joining methods for plastics and plastic composites: an overview. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

[4] Michaeli W, Korte W: Quality assurance in ultrasonic welding using statistical process models—prediction of weld strength. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

[5] *Guide to Ultrasonic Plastics Assembly*, Supplier design guide (403-536), Dukane Corporation, 1995.

[6] Kingsbury RT: Ultrasonic weldability of a broad range of medical plastics. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

[7] Wolcott J: Recent advances in ultrasonic technology. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

[8] Devine J: Ultrasonic bonding of plastics and textiles for medical and other devices. Joining Application in Electronics and Medical Devices. ICAWT'98, Conference proceedings, Columbus, September/October 1998.

[9] Herrmann T: Ultrasonic sealing of flexible pouches through contaminated sealing surfaces. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

[10] *Characteristics and Compatibility of Thermoplastics for Ultrasonic Assembly*, Supplier technical report (PW-1), Branson Ultrasonics Corporation, 1995.

[11] Taylor N: The ultrasonic welding of short glass fibre reinforced thermoplastics. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

[12] *Hot Plate Welders*, *Ultrasonic Welders*, *Spin Welders*, *Vibration Welders*, *Thermo Stakers*, *Leak Testers*, Supplier marketing literature (GC1095), Forward Technology Industries Inc., 1995.

[13] Thompson R: Assembly of fabricated parts. *Modern Plastics Encyclopedia 1988*, Reference book (M603.1), McGraw-Hill, 1987.

[14] Tres P: Assembly techniques for plastics. *Designing Plastics Parts for Assembly*, Reference book (ISBN 1/56990-199-6), Hanser/Gardner Publications, Inc., 1995.

[15] *Ultrasonic Welding of Delrin Acetal Resin*, *Zytel Nylon Resin*, *Lucite Acrylic Resin*, Supplier technical report (171), DuPont Company, 1972.

[16] Sherry JR: Ultrasonic joining of plastics components utilizing a micro-computer. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

[17] Lynch B: Welding and sealing: many variables come into play in designing successful joints. *Modern Plastics Encyclopedia 1994*, Reference book (M603.1.4), McGraw-Hill, 1993.

[18] Mengason J: Welding and sealing equipment. *Modern Plastics Encyclopedia 1993*, Reference book (M603.1.3), McGraw-Hill, 1992.

[19] *Valox Design Guide*, Supplier design guide (VAL-50C), General Electric Company, 1986.

[20] *An Industrial Guide to Joining Plastics with Ultrasonic Vibrational Energy in the 1990s. The Interdependence of the Component Design*, *Material and Ultrasonic Parameters*, Supplier technical report (DS9105), FFR Ultrasonics.

[21] *Sonics & Materials 40 kHz Ultrasonic Plastics Assembly Systems*, Supplier marketing literature (5M0795), Sonics & Materials Inc., 1995.

[22] *Sonics & Materials 15 kHz Ultrasonic Plastics Assembly Systems*. Supplier marketing literature (394WG), Sonics & Materials Inc., 1994.

[23] Grewell DA: Amplitude and force profiling: studies in ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1996, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Indianapolis, May 1996.

[24] Fomenko AF, Volkov SS: Ultrasound welding of polymer multilayered film materials. *Welding International*, 15 (7), p. 583, 2001.

第3章　振动焊接

3.1　工艺描述

振动焊接是一种使用两种材料交界面的摩擦产生的热量将交界面区域熔化的焊接方法。熔融物料在压力作用下一起流动，冷却后形成一个焊缝。振动焊接可以在很短的时间（一个循环周期1～10s）内完成，它适用于各种有平面或轻微曲面的热塑性塑料零件。

两种主要的振动焊接类型：一种是直线式，其摩擦热由直线往复运动（见图3.1）生成；另一种是轨道式，其待焊的上部零件是按圆周运动振动的。直线式振动焊接使用更为广泛，但是轨道式振动焊接使得焊接不规则形状的塑料零件成为可能。

工艺参数包括振动的振幅和频率、焊接压力以及焊接时间，所有这些参数都会影响最终焊缝的强度。

焊接过程包括四个阶段（见图3.2）。在第一阶段，摩擦生成的热量使得界面温度升高，达到无定形热塑性塑料的玻璃化转变温度或者半结晶性塑料的熔点。由于材料仍然处于固态，所以这个阶段没有位移或渗透深度（这里的位移指的是焊接过程中由于熔融材料的横向流动引起的相接触零件之间彼此减小的距离）。在第二阶段，界面的材料开始熔化并横向流动，引起焊缝位移的增加。在第三阶段，熔体产生的速率和熔体移动的速率相同，但是随时间线性增加；在第三阶段末，振动停止。在第四阶段，随着熔融层在压力下固化，渗透深度稍有增加。

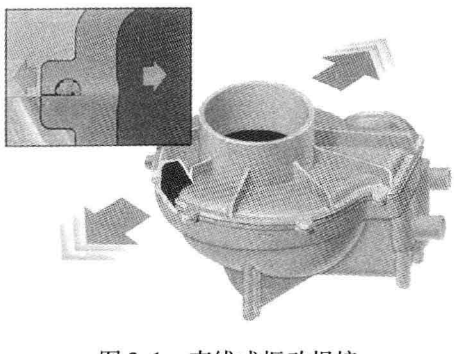


图3.1　直线式振动焊接
（来源：布兰森超声波公司）。

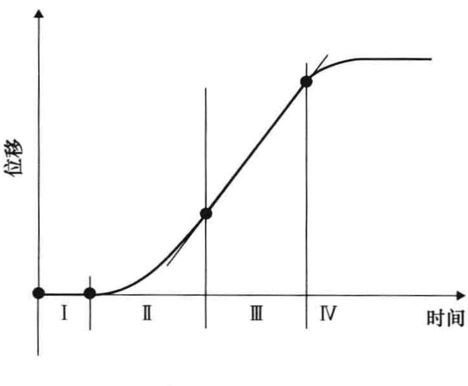


图3.2　振动焊接四个阶段的位移—时间曲线
（来源：英国焊接研究有限公司）。

3.2　优缺点

振动焊接的优点在于循环时间相对较短，节能，能焊接大零件，对表面渗透不敏感。由于摩擦引起的涂污作用，可以对那些已经真空金属化了的、喷涂了的或受污染的表面进行焊接。由于不像植入式焊接技术或粘合剂粘接技术那样会引入其他材料，所以焊接界面材料和

被焊零件的材料相同。与热工具焊接相比较，加热热量相对集中，但由于过热而引起的材料降解却很少发生。不像超声波焊接，材料的热传递特性对振动焊接无任何影响[1]。

振动焊接不用考虑材料的制造工艺（注射、挤压成型、真空成型等）。振动焊接还能生产高强度耐压的密封件。振动焊接的透明材料，其焊缝透光清晰。振动焊接只能用在那些公差配合要求不高的组件上，尽管可以事先了解塑料的熔点，但是熔体凝固点可能会稍微变化。

由于振动焊接使用了相当高的压力，所以和热板焊接相比，其工艺过程对成型翘曲敏感度较低。焊缝上的任何翘曲都在压力下被压平，以保证焊面的紧密接触。

和热板焊接或超声波焊接相比，振动焊接的一个缺点是设备和工具的最初成本很高。但是，在评价时还要考虑其在短时工艺循环周期内一次性焊接大零件的能力。

在振动焊接中有时会出现一个问题，就是如何将振动动能全部转换为接合区的热能。动能是通过内摩擦和界面摩擦转化为热能的。在第一阶段的固体材料的摩擦会引起很高的弯曲力，所以必须使用适当的夹具来固定，热塑性塑料必须有足够的刚性以避免变形。这对于振动方向垂直于焊件壁面的十字交叉厚度焊接尤为重要，实际上每一个零件都会碰到这种情况，因为所有的焊件在振动方向和振动的垂直方向上都有壁面。如果发生壁面弯曲，就会使得焊件之间产生的摩擦运动很有限或为零，从而限制了整个焊件焊缝的形成。在薄壁部分可以使用加强筋来克服这个问题。在极端情况下，如果焊件的挠度过大，夹具夹紧点（即挠度最大处）的塑料先开始熔化，出现这种情况，就无法完成焊接了[2]。

当焊接大零件时，由于尺寸的变化或缺少突出的结构，所以很难将其锁紧在夹具上，这时在夹具和零件之间会产生相对位移，这将导致零件的滑移和能量的损失。在高频下，总是不能得到满意的焊缝，在这种情况下可以使用低频振动获得高强度焊缝。

振动焊接工艺在接缝处会产生细小微粒和毛刺，这对于一些终端产品来说是一个缺点。对于硬塑料来说，这种现象更加明显，而且是发生在焊接循环的第一阶段表面粗糙峰被磨平时。可以通过在焊接之前预热表面的方法减少这种现象（见3.8.1节）。

振动焊接的另一个缺点是产生高达90~95dB的噪声，因此需要一个隔声罩将噪声减少到可接受的程度。

3.3 应用

振动焊接一般用以焊接大型零件，而小型零件在多腔工具中焊接比较经济。典型的零件尺寸为76.2mm×76.2mm(3in×3in)~61.0cm×152.4cm(24in×60in)。此焊接技术主要用在焊接高强度、耐压密封或真空连接件。

振动焊接还广泛用于家电行业，如组装洗衣机和洗碗机的水泵、颗粒填充肥皂分配器和洗碗机喷水臂。一个大型电器公司将一条用玻璃纤维填充PP材料的洗碗机水泵外壳的生产线从热板焊接改为振动焊接。振动焊接操作迅速、简单，能效高，维护简单，并且可以更好地控制强度和外观[1,3]。

汽车上的应用包括前照灯、尾灯以及仪表板组件（见图3.3），它们是将聚碳酸酯和它自己以及丙烯酸树脂焊接；汽车上的应用还包括乙醇汽油贮液槽、具有30%玻璃纤维填料的尼龙制造的制动液贮液槽、在两个平面内焊接的PP塑料车厢门、仪表盘和汽车内饰件、空调和加热器管道、真空容器、加燃油口和气流传感器。

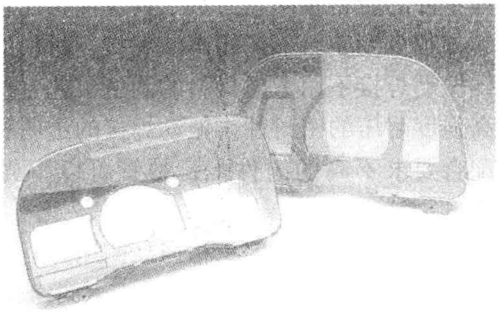


图 3.3　汽车仪表组
（来源：布兰森超声波公司）。

振动焊接第一次应用是在 20 世纪 70 年代后期，用来组装第一个可以承受 5mile/h（1mile = 1609.344m）冲击的全塑料汽车保险杠。热塑性保险杠由一个长而弯曲的 U 形截面梁（通常被称为前端梁或外板）和一个后加固梁（称为后梁）所组成。对用于接合这两个部件的其他技术也进行了评估：热板焊接在焊接交界面会产生一个随时间加剧的脆化问题，而感应粘接成本太高，粘合剂粘接由于热循环作用、较低的低温冲击极限以及附加质量问题也不能用，为机械紧固件打的孔也会增加局部应力集中。振动焊接最初的问题是，由于要将后梁连接到 U 形槽钢腿的内侧，使得工件焊接面积比较大（是其他焊件的 3 倍，交界面面积大 4 倍），而且还需要施加水平方向的夹紧力，而不是传统的垂直方向的夹紧力。大型工件振动焊接机使用低频（120Hz）电磁驱动，为此专门开发了用于施加水平夹紧力的新夹具。

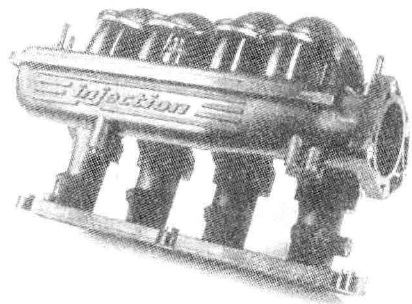


图 3.4　振动焊接的汽车气体入口歧管
（来源：英国焊接研究所有限公司）。

振动焊接也经常用于焊接耐高温的尼龙机罩。这种方法成本低、还可降低近 50% 的质量。例如尼龙进气歧管最初是用失芯注射工艺做成一体的，它虽然对于复杂的歧管设计很有用，但是对于大规模应用来说却相当昂贵。在这一应用中，线性振动焊接是进气歧管制造的一次革命，极大地减少了整体的成本。歧管先制成两个或三个注射成型零件，然后用线性振动焊接将它们组装成最终的歧管（见图 3.4）[1]。

在飞机制造业，聚碳酸酯空气扩散管的连接方法已经从粘合剂粘接转变为振动焊接。环氧树脂粘接要求喷砂预处理、零件的预接合、昂贵的夹具设备以及 24h 的固化时间。而振动焊接可以减少 70% 的劳动成本。

振动焊接的其他用途包括焊接两个对半的压力容器、贮液槽、阀体、电子模块、医用密封容器、电脑、娱乐和玩具工业。它也被用于焊接由 30% 玻璃纤维填料填充尼龙制作的链锯电动机外壳、丁烷气体打火机油罐、电池和气动逻辑板。实践证明振动焊接可以用在焊接高质量焊缝的聚乙烯（PE）气体分配管方面[1,3,4]。

3.4　材料

几乎任何热塑性材料都可用于振动焊接，结晶性的、无定形的、有填料的、发泡的以及经过增强的都可以。唯一难以焊接的是摩擦系数低的含氟聚合物。

焊接材料的性能影响焊接强度。一些热塑性材料在储藏过程中会吸收水，增加其水分含量，这有时会导致焊区有气泡形成并且降低焊接强度，但是尼龙和其他吸湿性树脂无须干燥

处理就可进行焊接[5]。

总之，高熔点的材料要求输入更高的能量以及更长的焊接时间。

含有颗粒填料或玻璃纤维填料（10% ~30%）的材料焊接性和纯净树脂的焊接性相似，但是为了达到渗透阈值，需要稍微增加焊接循环时间；玻璃纤维填充材料需要的时间比颗粒填料需要的时间短。填料含量的增加会不同程度地降低焊接强度，这取决于填料的含量和种类。和纯净树脂相比，用玻璃纤维增强的塑料或液晶聚合物的纤维沿着焊缝方向重新取向，所以会在焊缝中产生一个显著的弱点[3,4]。

焊件的厚度也影响焊接性。尽管为达到熔点所需时间（第一阶段所持续的时间）不依赖于工件厚度，但是在第二阶段和第三阶段熔料的侧向流动会受到影响，需要更长的时间来达到熔体的稳态流动（第三阶段）。另外，焊缝厚度增加会使得固化时间增加。最终，焊件越厚，所需的焊件循环时间就越长。焊接时间可以通过增加焊接压力来减少。焊接压力的增加会减少稳态焊缝厚度，同时通过减少达到稳态所必需的渗透深度来增加焊接强度。由于厚的工件（12.3mm，即0.48in）需要高的渗透阈值，所以在低的焊接压力（0.52MPa，即75psi）下，不可能总得到高的焊接强度。如果使用基于渗透阈值的控制方法来终止焊接循环，那么渗透阈值必须考虑焊接压力和工件厚度进行调整[7]。

当焊接两种不同的材料时，两种待焊材料的性能差距会影响焊接性和焊接强度。振动焊接一般用来焊接两种熔点相差不超过38℃（68℉）的材料。对于不同的材料来说，发生在熔融状态时两种材料相互扩散的程度差别很大（这主要取决于扩散系数、相对分子质量、内聚能密度），并且影响焊缝的形态。两种聚合物熔体的剪切混合会在焊缝界面间产生机械互锁。渗透深度对时间曲线和焊接相同材料的曲线相似，但是两种聚合物熔点不同会导致焊接强度随着渗透深度的增加稳定增长，即便达到渗透阈值后也会增长。这是由于，在早期阶段对渗透起主导作用的低熔点聚合物的熔融和流动产生了一个明显的稳定状态。随着温度的增加，高熔点的聚合物快速熔化，之后达到一个稳定的状态。增加渗透深度会提高强度，渗透深度值大时，焊接强度和较弱的纯净材料的焊接强度差不多。由于这个性质，焊接不同的材料时不能将渗透深度时间曲线单独作为确定最优状态参数的依据。相容性好的热塑性材料组合包括ABS和PC、ABS和丙烯酸酯、SAN（苯乙烯丙烯腈）和丙烯酸酯、SAN和聚苯烯（PS）以及PC和丙烯酸酯。没有无定形材料和相容性半结晶聚合物结合的情况[8]。

3.5 设备

振动焊接机械体型巨大，必然需要一个足够的质量块来防止设备在振动循环过程中产生移动。由于焊接过程中会有噪声产生，所以在设备外壁上装有隔声板来保护操作工和附近人员，这样一般可以将噪声减少到85dB以内。图3.5为一台典型的线性振动焊接设备。

设备可分为低频（120 ~135Hz）和高频（180 ~260Hz），也可分为频率可变型或频率恒定型。变频设备为电气驱动，可以将频率调节到与工件和工具质量相匹配的值。恒频设备为液压驱动，它需要搭配专门的工件和工具。设备在高频下运行要求工件间的间隙和移动更小些。

线性振动焊接机由三个主要部件组成：一个悬挂在弹簧上的振动组件、一个升降台和一个工装夹具。图3.6所示为其结构简图。

振动组件是一个没有支撑表面的移动元件，由液压活塞驱动或电磁驱动。大多数工业用的是电磁振动系统，它由两个装在弹簧系统两头的循环激励的电磁铁组成。弹簧以电磁波频

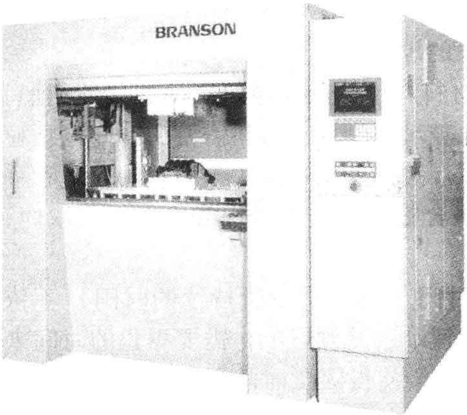


图 3.5 一台典型的线性振动焊接设备（来源：布兰森超声波公司）。

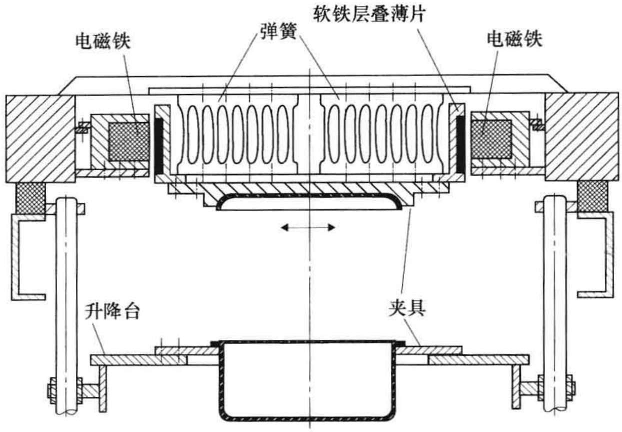


图 3.6 振动焊接机的主要部件简图。

率产生共振，并且支撑振动组件承受垂直焊接压力，同时在焊接周期结束时使振动组件回到平衡位置，为焊件提供精确对准。其中一个焊件安装在振动组件的上部工具中，另一个焊件夹在升降台的工具中。在一些应用中，将两个工件都装在下部工具中，针对这种情况，需要一个模制的销子或是相似的结构来配合协助定位。当焊接周期开始时将模制的销子剪切掉。

升降台使待焊工件接触，即将下部工具和工件升起来接触振动组件上的工具和工件。导轨用来保证水平定位的精确度。升降台可以是液压驱动、气动或电力驱动。升降台的设计应提供足够的质量和稳定性以平衡振动头的振动。在升降台上可以安装凹槽以处理大型工件。一个焊接周期完成以后，升降台下降，打开装卸门，取出焊好的工件。

在振动焊接设备中使用的工具相当简单，它由轮廓加工成与工件的接合面一致的铝板组成。对复杂几何形状的零件可用聚氨酯嵌件，这样做可以减少表面焊纹。工具必须提供良好的支撑以保证焊接周期中施加于交界面的压力均匀。焊接中，工件和夹具之间无相对运动对焊接至关重要，否则会减小焊接界面间的振幅。该设备使用了简单的夹紧用的钩子和插栓。气动夹可用于下部工具，而上部工具可以采用真空吸盘来保持工件在焊接之前的位置。上部工具和下部工具都有对正销孔，找正时销子插入销孔中实现准确定位。

由于振动头是共振系统，所以上部工具的质量对于获得正确振幅和工作效率都至关重要，或者说，获得最大振幅时的频率取决于工具质量的大小。生产商为不同的工具质量对应的最大振幅提供了指导说明，这些工具的设计可得到优化。现代微处理器控制的焊接机可自我调整，当工具改变的时候得到相应的共振频率。

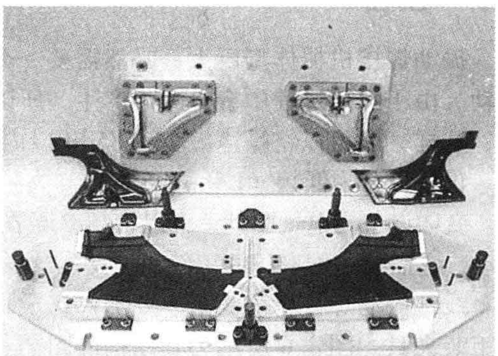


图 3.7 线性振动焊接中的上部工具和下部工具装置（来源：布兰森超声波公司）。

一般由于制造原因，针对大型工件的工具可能会拆分为几件，这样就易于改造工具，并可增加调整元件以补偿焊件的公差变化。图 3.7所示为上部工具和下部工具装置。

市场上振动焊接设备的选择范围很广，根

据尺寸和选型的不同，价格在40000～250000美元范围。可选型号包括闭环渗透深度距离控制、统计工艺控制和机器人加载三种。通过线位移传感器（LDT）代替以前零散的升降台限位开关和接近传感器，可以完成焊接过程中对于升降台位置监测和渗透深度的精确控制。液压变速升降装置和夹持系统可以为升降台板提供平滑精确的定位，使得焊接多条焊缝和保持压力成为可能[3,9-11]。

3.6 接头设计

在设计用于振动焊接的工件时，有两个考虑要点：

- 在接头处提供足够的间隙，留出两工件间的振动距离。
- 工件必须有足够的刚度，在焊接时能支撑要焊接的接头。

除了以上两点，还要将接头强度和完工焊缝的外观一起考虑，就是说，考虑露在外面的焊瘤能不能要的问题。

最简单的接头是对接接头，如图3.8所示。振动焊接的很多应用倾向于方形壳体，所以振动方向既要平行又要垂直于壁的方向。为了防止出现裂纹，焊面不能完全脱离接触，所以一般将振幅严格控制在壁厚的90%。

为了提供足够的刚度防止弯曲变形，保证焊缝比母体材料（见图3.9）更结实，一般的做法是，将接头的壁厚增加到整个组件壁厚的2～3倍。这种设计也有助于对工件的抓取以及在焊缝附近施加均匀的压力。

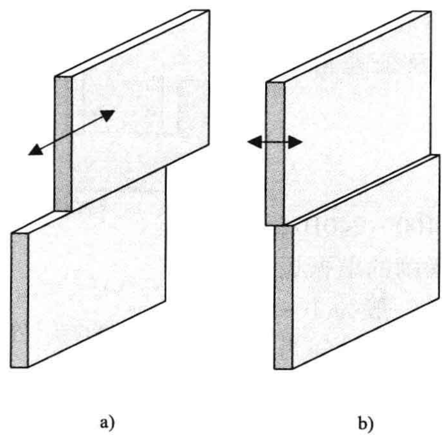


图3.8 用于线性振动焊接的简单对接接头（来源：英国焊接研究有限公司）。
a）平行于壁面运动 b）垂直于壁面运动

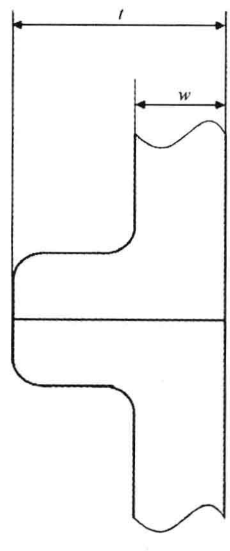


图3.9 增加厚度的对接接头（来源：英国焊接研究有限公司）。

对无支撑的薄壁或长壁焊接，特别是在振动方向垂直于壁面的焊接，很有必要使用一个U形接头（见图3.10），这种设计用来将组件的壁固定在夹具上，防止壁的弯曲变形。像0.8mm（0.03in）的薄壁已经成功地用U形接头焊接了。

出于美观要求不需要焊瘤的话，可以在接头处设计一个隐藏焊瘤的焊阱。功能和美化设

计如图 3.11 所示。焊阱的容积应当和焊接过程中挤出材料的量相同。

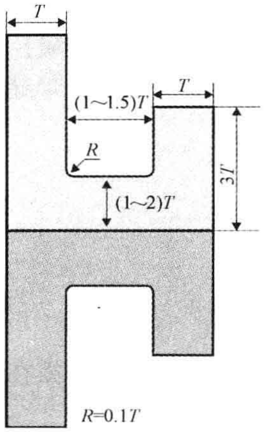


图 3.10 U 形对接接头
（来源：英国焊接研究有限公司）。

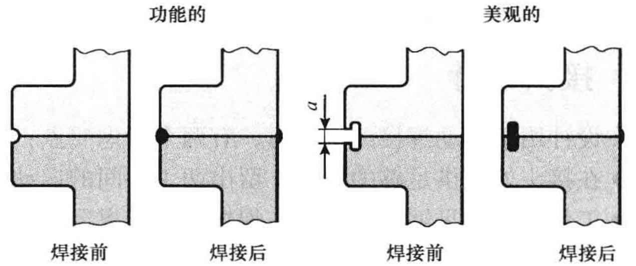


图 3.11 振动焊接的焊阱设计
（来源：英国焊接研究有限公司）。

一种可替代的且更流行的接头设计为榫槽接头设计（见图 3.12）。这种设计将焊瘤包裹在壁内的凹槽里面，而不会流到组件边缘外部。凸片厚度通常是组件壁厚的 1 ~ 3 倍，随着强度的要求而不同，其高度和宽度大约相等。振动间隙［高频焊接为 ±0.8mm（±0.03in）；低频焊接为 1.5mm（0.06in）］必须能够容下焊瘤体积。有一种替代方法是使用一种带有裙盖的基本凸片设计来隐藏焊瘤，并允许为振动位移及公差留下 1.27mm（0.05in）的间隙。

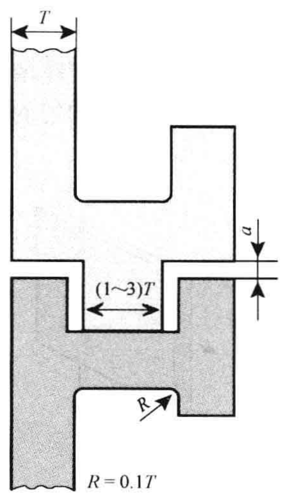


图 3.12 榫槽接头（来源：英国焊接研究有限公司）。

3.7 焊接参数

大多数工业用的振动焊接机焊接运行频率为 100 ~ 240Hz，但是也有更高频率的机械。由调谐弹簧质量系统激励的谐振振幅一般小于 5mm（0.2in），焊接时间为 1 ~ 10s（一般为 1 ~ 3s），振动停止后的固化时间一般为 4 ~ 10s，总的循环时间为 6 ~ 15s，也就是每分钟有 4 ~ 10 个循环。

为了熔融焊接交界面的材料，必须为材料输入指定的能量。这个能量输入值和工件间的摩擦速度成正比。在实际工程中，配合面之间最大的摩擦速度 V 对焊接是很有用的。V 可由峰-峰振幅值 a(mm) 和频率 f(Hz) 来计算得到：

$$V = 2af$$

一般情况下，焊接的 V 值应当在 500 ~ 1000mm/s（20 ~ 40in/s）范围。

为了生产有效的焊缝，对高频（240Hz）焊接使用低的焊接振幅（0.7 ~ 1.8mm；0.03 ~ 0.07in）；对低频（100Hz）焊接一般使用高的焊接振幅（2 ~ 4mm；0.08 ~ 0.16in）[1]。

一般当工件间隙限制在小于 1.5mm（0.06in）的时候，或者当不希望有焊瘤的时候，应当使用高频振动，比如制动和转向液贮液槽的焊接。在焊接振动方向垂直于长、薄、无支撑侧壁

件的时候，低频焊接大的振幅便显示出了它的优势。这些工件对弯曲变形很敏感，会限制焊接，但是在很多情况下，低频的位移大些，便能抵消弯曲带来的影响，这样就可以进行焊接了。

焊接压力变化范围很宽（0.5～20MPa，即72～2900psi），但是焊接压力一般处于这个范围的低压段（0.5～2.0MPa，即72～290psi）。焊接压力越高，焊接时间越短，但是增加焊接压力就会将熔融的塑料挤到焊缝的外面，从而降低了焊接强度，导致“冷”焊缝的形成。例如尼龙，当焊接压力从1MPa（145psi）增加到20MPa（2900psi），焊接强度就会减少40%。焊接强度一般对于频率和振幅不太敏感，但是对于一些材料（如聚醚酰亚胺）来说，要达到高的焊接强度，就要求高的焊接频率[1]。

双段焊接压力对于焊接质量有积极影响，还可以减少整个焊接时间。当使用双段压力焊接的时候，先施加高的焊接压力使材料开始熔化，后施加低的焊接压力完成振动循环，这样能获得最优的焊接强度。在这种改进的工艺中，低焊接压力值取决于材料[2,12]。

对焊接强度影响最大的因素是焊接渗透深度或位移。当渗透深度超过某一阈值，即等于第三阶段的稳定状态开始时的渗透深度时，焊接的静态强度就会达到母体材料的强度；当渗透深度低于这个值时，焊接强度降低。当渗透深度值大于临界阈值时，并不影响未经增强的聚合物、短切玻璃纤维填充塑料或结构发泡塑料的焊接强度，但是会增加不同材料焊接的强度。当焊件的厚度增加时，渗透阈值随之增加，厚度为6.3mm（0.25in）的材料，渗透阈值为0.25mm（0.01in）时，将得到高强度焊缝。一旦达到这个阈值，焊接强度对焊接频率、振幅、压力这些因素将不太敏感；但是，当阈值一定时，焊接强度会随着焊接压力的增加而降低。增加焊接压力或振幅，会缩短到达第三阶段所需要的时间，从而导致渗透率的增加和焊接时间的减少。

对于焊接周期的调节，振动焊接机一般有两种控制模式，即为“按时间焊接模式”和“按位移焊接模式”。当按时间焊接的时候，焊接时间为两塑料工件一起摩擦产生热量的时间。理想状态下，当达到焊接循环的稳定状态时，时间就终止了。高熔点材料所需的焊接时间一般要更长。

在按位移焊接模式中，工件的振动直到结合材料的位移达到之后才停止，一般为1～2mm（0.04～0.08in）。这个位移值的选择必须足以确保稳态熔融的产生，也能保证补偿表面的不平整所引起的任何可能的偏差。如果设计的一些表面不是焊接面，按位移焊接的方法可以保证这些表面在焊接循环结束时互不接触。

3.8 特殊工艺

3.8.1 使用红外线预热的线性振动焊接

振动焊接的一个特征是它会产生微粒或者毛刺，研究显示这些缺陷主要发生在焊接循环的第一阶段，接缝处的表面粗糙峰被磨平的时候。在一些应用中（如媒体传输件和医用容器），是不允许产生这种污物的。研究中已经开始使用预热的方法来保证在振动焊接循环之前形成一层熔融层，进而抑制固体摩擦阶段。试验证明使用线圈加热器、短波和快速中波红外（IR）发生器加热都可以有效减少细小毛刺的形成（见图3.13）。红外线发生器有一个优点，就是保证预热时间相对较短（几秒钟），因此振动焊接相对于热板焊接用时短的优势并没有被很大地削弱[13]。

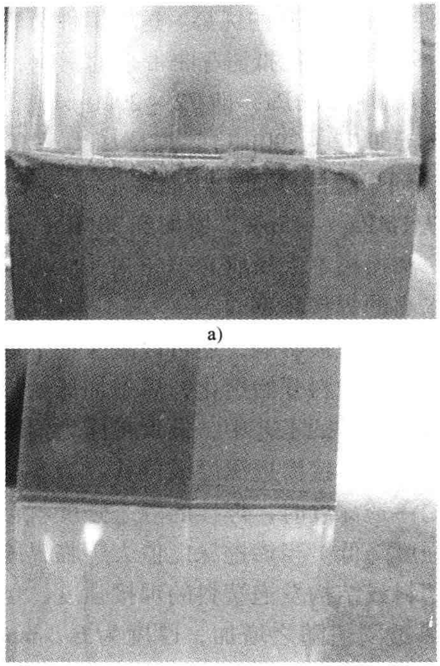


图 3.13　PC/ABS 共混物和透明聚碳酸酯的焊接（来源：布兰森超声波公司）。
a）无红外线预热　b）有红外线预热

3.8.2　轨道振动焊接

在轨道振动焊接中，一个工件相对于另一个工件在轴向压力作用下沿圆周运动产生摩擦，如图 3.14 所示。和线性振动焊接不同的是，界面处两工件的相对运动在周向所有的点上相同，并且从横向运动到纵向运动连续变化。

图 3.15 表示用于产生圆周运动的驱动机构。上工具板安装在三个中心弹簧的上面。围

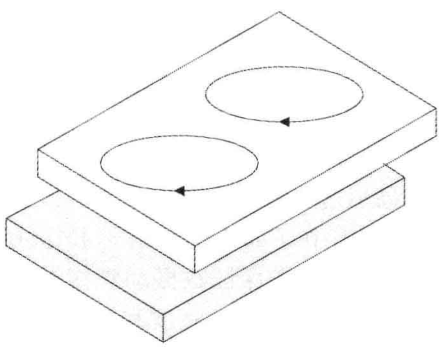


图 3.14　轨道振动焊接的示意图（来源：英国焊接研究有限公司）。

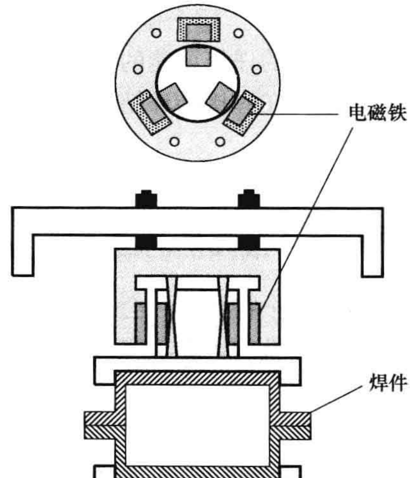


图 3.15　用于产生圆周运动的系统简图（来源：英国焊接研究有限公司）。

绕中心柱排列着三个电磁铁，彼此相隔120°。在运行时，每个电磁铁轮流通电，驱动工具板离开中心位置，这样在整个焊接循环进行下去后便产生一个圆周运动，当走完一个焊接时间时，关掉供给电磁铁的电流，工具板就又回到原先的中心位置，保证工件很好地对正。在整个焊接和冷却的循环过程中，始终施加一个轴向负载。

由于这种运动较柔和，再加上0.5～1.5mm（0.02～0.06in）的振幅，所以这种工艺更适合于壁相对薄［小于2mm（0.08in）］的工件或无支撑的垂直壁，它也很适合于含有敏感电子元件的焊件。另外，循环时间也要比线性振动焊接所用时间短[14]。

正如线性振动焊接机那样，包括闭环振幅控制、频率可调、触摸屏用户界面和用于验证焊接质量的工艺验证软件这些基于微处理器的轨道振动焊接机现已推出。一台典型的轨道振动焊接机的售价大概为80000美元[10,11]。

3.8.3 角摩擦焊接

角摩擦焊接是指焊件在轴向压力作用下以一定的角度往复摩擦作用。其运动形式如图3.16所示。除了运动是摆角外，它和线性摩擦焊接在原理上相似，主要用于圆形工件的焊接。在100Hz的频率下，振动弧度一般是在2°～5°的范围。开发该工艺的目的是焊接最终的焊缝结构至关重要的圆形工件，但是由于具有位置控制的旋转焊接机的出现，至今它还没有广泛用于工业生产。

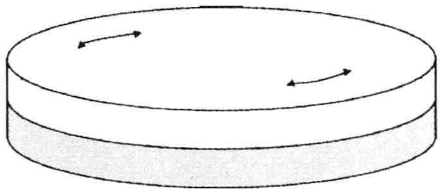


图3.16 由角摩擦焊接产生的运动

参考文献

[1] Stokes VK: Toward a weld-strength data base for vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

[2] Potente H, Uebbing M: Vibration welding of high temperature plastics. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

[3] Besuyen JA: Bonding and sealing. *Modern Plastics Encyclopedia 1992*, Reference book (M603.1.2), McGraw-Hill, 1991.

[4] Troughton MJ, Nomura H, Hirabayashi K: Vibration welding of polyethylene pipes. 16th International Plastic Pipe Fuel Gas Symposium, New Orleans, November 1999.

[5] Potente H, Uebbing M: The effects of moisture on the vibration welding of polyamide. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

[6] Stokes VK: The effect of fillers on the vibration welding of poly (butylene terephthalate). ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

[7] Stokes VK: Thickness effects in the vibration welding of polycarbonate. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

[8] Stokes VK, Hobbs SY: Strength and bonding mechanisms in vibration-welded polycarbonate to polyetherimide joints. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

[9] *Hot Plate Welders*, *Ultrasonic Welders*, *Spin Welders*, *Vibration Welders*, *Thermo Stakers*, *Leak Testers*, Supplier marketing literature (GC1095), Forward Technology Industries Inc., 1995.

[10] Partenio AC: A variety of processes can solve most assembly problems. *Modern Plastics Encyclopedia 1996*, Reference book (M603. 1. 6), McGraw-Hill, 1995.

[11] *Plastics Joining Technology*, Supplier marketing literature, Branson Ultrasonics Corporation, 1994.

[12] Giese M, Ehrenstein GW: Identi fication of phase 3in the vibration welding process. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engi-neers, New Orleans, May 1993.

[13] Potente H, Heim HP, Schnieders J, Bussing M: Quality increase and fine fiuff avoidance in vibration welding. ANTEC 2006, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Charlotte, May 2006.

[14] Grewell DA, Benatar A: A process comparison of orbital and linear vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

第 4 章　旋 转 焊 接

4.1　工艺描述

旋转焊接也叫旋转摩擦焊接，是一种具有旋转对称焊接表面的热塑性工件在压力作用下以单向圆周运动一起摩擦的焊接工艺。一般情况下，一个工件固定静止，另一个工件旋转。在这一过程中产生的热量熔化了界面的塑料，冷却后形成焊缝。整个工艺过程可以在专门的旋转焊接机或在车床或钻床上完成。

旋转焊接工艺可以分为以下 4 个步骤：

步骤 1：装夹工件。即手工将工件装夹在机器上，两个工件一般装夹在安装于焊机底座的夹具上（见图 4.1a）。但是，对大型工件，一般将上部工件装夹在上面的夹具或驱动头上。这个步骤一般要耗时 2 ~ 5s。

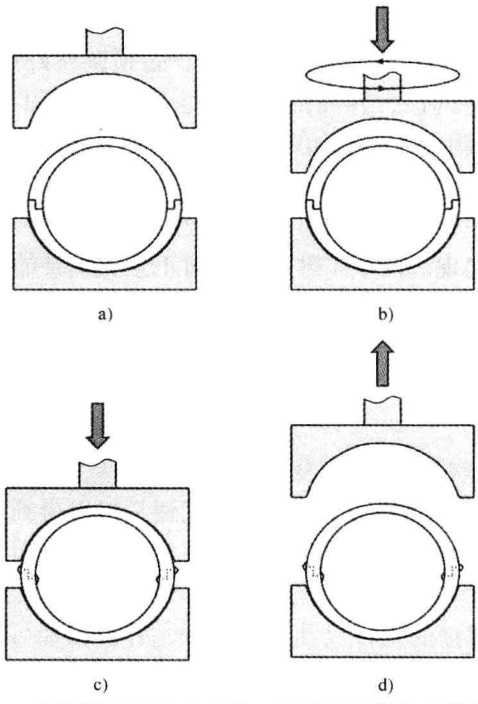


图 4.1　旋转焊接工艺（来源：英国焊接研究有限公司）。

a）装夹工件于下面的夹具　b）驱动头开始旋转并下降和上部工件啮合

c）进行焊接，停止旋转，压力下冷却组件　d）驱动头升起，取下焊好的工件

步骤 2：施压阶段。这个步骤一般由操作员通过两个双头按键开启。驱动头开始旋转，接着驱动头下降同上部工件啮合（见图 4.1b）。其转速根据焊件尺寸的不同，在 200 ~ 14000r/min 范围，但是一般在 2000r/min 左右。这一步骤耗时为 1 ~ 2s。

步骤 3：焊接。一旦驱动头和上部工件啮合，它便开始旋转，而且工件间的相对运动开

始产生热量，界面的材料开始熔化。这个焊接过程本身如同振动焊接过程（见第3.1节），可分为4个阶段：在第一阶段，在两个固体表面之间产生摩擦，产生热量，并且使得无定形材料或半结晶性材料的界面温度分别增加到玻璃化温度或熔点；在第二阶段，界面材料开始熔化，随着熔融厚度的增加，部分熔融材料被挤出焊缝，产生焊瘤；在第三阶段，达到一个稳定的状态，熔融材料的产生速度和焊缝焊瘤的产生速度持平，一旦达到这个状态，不同系统的驱动头，或者通过摩擦或者使用制动停止旋转；这三个阶段的持续时间一般为0.5～2s；在第四阶段，驱动头停止旋转，工件在预设的压力作用下固定在一起以保证熔融表面间的紧密接触，为焊缝的冷却（见图4.1c）做好准备，第四阶段的耗时一般为1～2s。

步骤4：移去工件。一旦焊缝充分固化，就可升起驱动头取出工件（见图4.1d）。这一步骤一般用时2～5s。

4.1.1 旋转焊接模式

旋转焊接有两种主要模式：惯性模式和直接驱动模式。

在最简单的旋转焊接模式，即惯性焊接中，驱动头和飞轮连接，在气动马达或电动机驱动下以恒定的转速旋转，这样在旋转质量中储存了一定的动能，动能储量随着转速或驱动头质量的变化而变化，当达到设定的转速时，电动机就脱离啮合，并起动压力机。驱动头自由旋转，直到储存的动能全部转移到焊接接头为止。必须调整好压力，以保证这一过程持续1s左右，如果时间再长一些的话，界面的熔体就会因为开始固化作用而受到剪切，从而降低焊接强度。惯性旋转焊接可以用于简单的设备，但是，这种技术不能控制循环结束时两个工件间的最终相对角位置。

在直接驱动旋转焊接中，整个焊接过程中转速为一恒定值。这可以通过使用车床或钻床或专用的旋转焊接设备来实现。两个工件之间的对正至关重要的应用场合，可以使用旋转焊接机。可以通过编程，使旋转焊接机的伺服电动机或步进电动机在达到预设的角度时几乎瞬间停止转动。

4.2 优缺点

旋转焊接工艺简单，能效高；由于没有过量的热量产生，意味着冷却时间较短。这些优点使得它很适合于应用在自动组装线上。这种工艺通常可以得到比母体材料强度高、密封好的焊接效果。和溶剂焊接或粘合剂粘接相比，它不会往焊缝中引入别的材料，也没有必要考虑外部环境。

理论上，旋转焊接可焊接的工件尺寸没有上限，并且已经可以焊接直径超过1m的工件了。但是，大多数应用的直径小于或等于300mm（12in）。对于焊接长而高的工件（特别是工件有波状外形或有开口，或者工件是半结晶性材料）来说，旋转焊接要比远区超声波焊接好。

惯性旋转焊接机及其工具相对便宜，但是定向公差能够达到±0.5～2.0°的直接驱动模式的机器可能花费要高50%～300%。

旋转焊接的主要缺点是，该技术应用仅限于圆形设备。

4.3 应用

旋转焊接第一次见报道的应用是用于连接充满液体的指南针，焊接是在液体表面之下进

行，所以这个工艺可以用在内有液体的容器密封。其他应用有燃料过滤器、止逆阀、汽车灯、喷雾器罐和救生浮具。旋转焊接也用于组装结构组件，如将通风管焊接到吹塑成型的燃料箱上，以及焊接容器的上盖和下底，另外它已经用于PE管的连接和修复[1-3]。

旋转焊接的应用举例如图4.2所示。

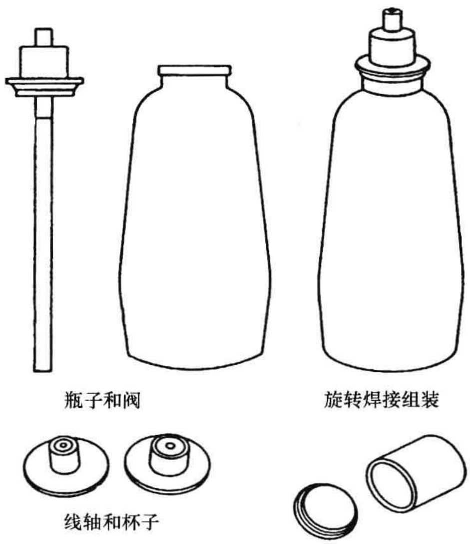


图4.2　使用旋转焊接连接的瓶子、线轴和杯子。

4.4　材料

几乎所有的热塑性材料都可以用旋转焊接。表4.1给出了大多数常用热塑性塑料的焊接性。

表4.1　大多数常用热塑性塑料的焊接性[4]

材　料	焊　接　性	材　料	焊　接　性
ABS	良-优	PEI	良
ABS/PC 合金	良	PES	良-优
聚甲醛	中-良	PET	中-良
丙烯酸类树脂	良	PFA	差
ASA	良	PMP(聚甲基戊烯)	良
醋酸纤维素	良	聚氨酯	差-中
LCP(液晶聚合物)	中-良	PP	良-优
PA(尼龙)	良	PPS	良
PAI	中-良	PS	良-优
PBT	良	PSO	良
PC	良-优	PVC(硬质)	良
PC/PBT 合金	良	PVDF	良
PE	良	SAN	良-优
PEEK	中	苯乙烯/丁二烯共聚物	良-优

对于任何摩擦焊接工艺来说，高熔点的材料都需要更高的能量输入以及更长的焊接时间。

像硅和其他润滑油等添加剂都将降低材料的摩擦系数，这会给焊接带来更多的困难。填料也可能对焊缝的强度有一些影响。例如，当填料的含量比较高（>30%）时，焊接时界面上的聚合物量就会减少，同时也会引起强度的降低。还有，由于纤维增强不会“穿过”接缝，所以焊接强度的最大值只能达到没有增强时的塑料所能达到的强度。因此，还必须通过增加焊接面积来补偿强度。



图 4.3 典型的惯性旋转焊接机（来源：福沃特科技）。

4.5 设备

从车床和改装的钻床到直接驱动模式和电脑控制模式，在设计和复杂程度上，旋转焊接机差别很大。在大多数的惯性旋转焊接机中，旋转运动由一个气动马达提供，其通过一个控制阀来调节气流的大小，进而驱动连接到驱动头的飞轮的运转。图 4.3 为典型的惯性旋转焊接机。在直接驱动的焊接机中，气动马达、控制阀和飞轮被电动机代替。

在这两个系统中，垂直运动和焊接压力一般由一个气缸控制，一般会有一个压力阀来调节控制焊接时的最大压力。压力机上一般会安装有一个编码器来测量焊缝的位移。

4.5.1 下部工具

工具的设计是旋转焊接的一个重要方面。焊件必须得到充分的支撑以防止它们在焊接过程中的弯曲和移动。因此，嵌套工具对组件壁的支撑还是应当尽可能地紧贴焊线处（见图 4.4）。

下部工具可以用铝或金属化环氧树脂模塑复合材料加工制造。当用铝来制造工具的时候，建议做一个与工件匹配的副本。这个副本可以把一个实际组件的浇注阴模通过 CNC 数控加工或仿形铣削获得。这样就保证了工件和工具的紧密接触。

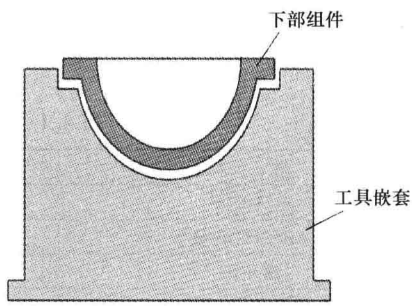


图 4.4 下部组件支撑结构（来源：英国焊接研究有限公司）。

4.5.2 上部工具

上部工具应当用金属制造，因为环氧树脂在模具中可能分布不均匀，从而形成一个不平衡的工具。

在焊接之前将上部工件安装在机器时，应当做一个上部工具，这样工件才能被压配到指定位置，这样可以避免焊接时组件的滑落，也可以在工具上加一个传动销来定位组件防止滑动。

在焊接之前将两个工件放入下部工具，上部工具进行表面处理（如锯齿状表面处理或喷砂表面处理），这些表面轮廓是用来当旋转面和静止组件配合时抓牢组件的。需要注意的

是，在使用这种方法的时候，一些工件上可能产生划痕，但是，如果这些牙型设计合理且驱动速度又够快的话，这些划痕会降低到最少（见图4.5）。

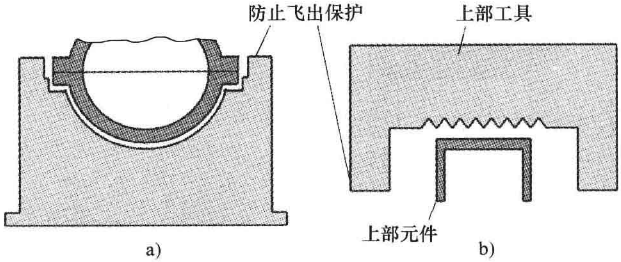


图4.5 组件防飞出防护装置（来源：英国焊接研究有限公司）。
a）下部工具 b）上部工具

4.6 接头设计

为旋转焊接设计热塑性组件的时候，接头设计是一个关键因素。应当认真保证设计的接头满足要求；就是说，设计的接头能使焊缝外形美观并且/或者提供所需的焊接强度。

为旋转焊接设计组件时，最简单的接头形式为对接接头。图4.6为一个简单对接接头焊接前后的示意图。这种接头设计只能用于最终组件对于焊瘤可接受的场合。

在一些场合，为了获得高的焊接强度和工件刚度（见图4.7），可以加厚组件焊接区域的壁厚。

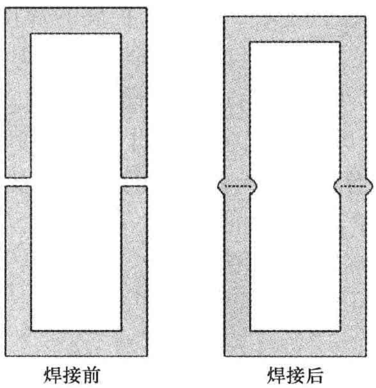


图4.6 旋转焊接的简单对接接头（来源：英国焊接研究有限公司）。

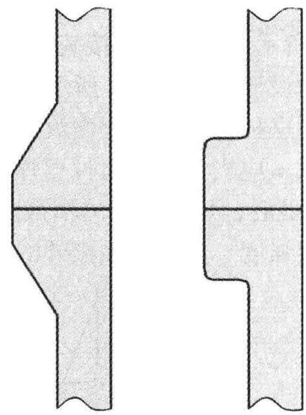


图4.7 焊接区域有加宽壁厚的简单对接接头（来源：英国焊接研究有限公司）。

为了除掉焊接区域可见的焊瘤，可以增加焊阱设计。图4.8所示为焊瘤位置可控的、两种简单的对接接头设计。其中左侧的例子显示了可控焊瘤隐藏到焊接组件内部的过程。上部工件内部台阶要比下部工件的外部台阶高些。这样当开始熔融时，内部台阶先熔化，材料就流到了工件的内部。当有足够的材料熔化之后，上部工件的外部台阶才和下部工件接触，但是不产生接合作用。

需要强调的是，在这种设计中，焊接区域只是这个组件壁厚的一半。如果焊接强度是母体材料强度的100%的话，那么接头强度只是母体材料强度的50%。

在图 4.9 所示的设计中，有一定角度的槽和锥面的设计可以在焊接中获得工件的自定心以及焊接前的预定位。这种独特的接头设计也增加了界面的焊接面积，减少了对同样焊接面积但更厚壁面的需求。这种设计不包含焊阱。

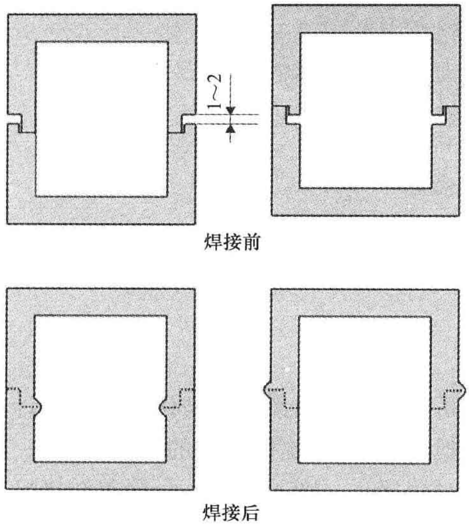


图 4.8　简单对接接头的外部焊阱（左图）和内部焊阱（右图）的设计（来源：英国焊接研究有限公司）。

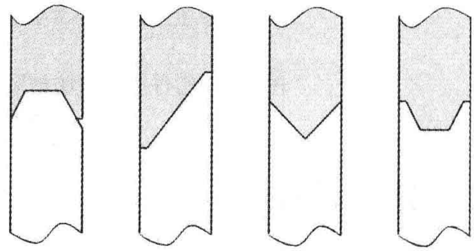


图 4.9　用于旋转焊接的可自动定心的简单对接接头设计（来源：英国焊接研究有限公司）。

图 4.10 所示为几个榫槽接头设计，都包括工件准直、自定心、焊阱和扩展的焊接面积。其中最简单的设计如图 4.10a 所示，它不包含焊阱，但在接头边缘处有一个能引导焊瘤流进的小凹槽。在这种设计中，焊瘤流到了组件的外表面，所以焊接后还是能看见焊瘤。焊接前工件间的间隙 a 应当大约为组件壁厚的 1/10。为了防止焊接过程中发生自锁，角度 b 应当不小于 30°。最后，焊接表面的横截面上的长度 $c+d$ 应当至少为组件壁厚的 2.5 倍以保证获得足够的焊接强度。为了增加额外的刚度，可以在组件壁上增设加强筋。

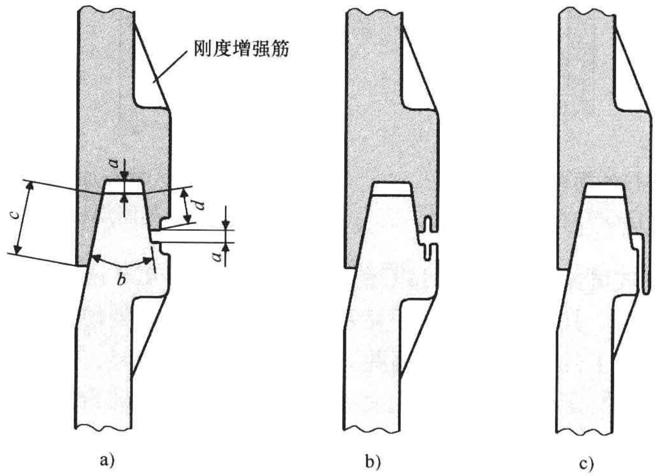


图 4.10　用于旋转焊接的榫槽接头设计（来源：英国焊接研究有限公司）。
a）基本接头　b）带有焊阱的接头　c）裙式的接头

图4.10b 的接头设计在上、下组件上都模制了一个焊阱。在这种设计中，接缝可见，但看不见焊瘤。焊阱尺寸必须足够大以包含所有从焊接截面流出的塑料熔体。在实际的设计中，最好稍微加点空间以防止可能的过度熔融。

图4.10c 所示为裙式榫槽接头设计，其中焊瘤隐藏在槽中，而接缝也隐藏在了“裙子”的下面。

最适合的接头设计还是要基于所要求的最终结果来选择（见表4.2）。

表4.2 接头设计的选择标准

接头强度	外观		
	要求不苛刻←		→要求苛刻
要求不苛刻↑	无焊阱的简单对接接头（见图4.6）	带有内部焊阱或外部焊阱的简单对接接头（见图4.8）	有内部、外部焊阱的简单对接接头
	在焊接区域增加壁厚的简单对接接头（见图4.7）	带有内部焊阱或外部焊阱和在焊接区域增加壁厚的简单对接接头	带有内部、外部焊阱和在焊接区域增加壁厚的简单对接接头
要求苛刻↓	有角度的或者是榫槽接头（见图4.9或图4.10a）	在两组件上都有模制焊阱的榫槽接头（见图4.10b）	带有隐藏在接缝下的焊阱的榫槽接头（见图4.10c）

4.7 焊接参数

所有的焊接工艺都有三种主要的参数——热量、时间和压力。但其每个参数的控制方式则取决于具体的焊接工艺。例如，在直接驱动和惯性旋转焊接中，热量都是通过摩擦作用产生的，但是直接驱动焊接通过时间控制产生足够的热量，而惯性焊接法则通过控制旋转飞轮存储的能量来产生足够的热量。

1. *焊接力/压力*

在旋转焊接中，在旋转头接触组件之后开始对接头施加压力。一般对于热塑性塑料施加压力在0.5～2MPa（72.5～290psi）范围。由施加到工件的焊接力进而产生焊接压力的计算公式如下：

$$焊接力(\mathrm{N}) = 焊接压力(\mathrm{MPa}) \times 焊接面积(\mathrm{mm}^2)$$

2. *冷却时间*

冷却时间为工件在停止旋转后在压力下保持的时间长度。这个时间应当足够长，以允许焊接材料的冷却和固化，一般取决于试验结果。

4.7.1 惯性旋转焊接

1. *转速和质量*

在驱动头和塑料工件接触之前，用于焊接的能量最初储存在旋转飞轮上，其能量的多少随着驱动头的转速和质量而变化。其转速一般为2500～4000r/min，驱动头质量一般为1～4kg（2.2～8.8lb）。

2. *升速时间*

升速时间即为驱动头达到其最大转速的时间。因此，输入给接头的能量无需通过改变驱

动头质量来改变，而是在升速时间内通过将驱动头移到组件上实现变化。

4.7.2 直接驱动旋转焊接

1. 转速

在直接驱动旋转焊接中，一个元件围绕另一个静止元件以一定的速度旋转，其所需的转速取决于材料和应用场合。每一种材料都有其产生摩擦热的最优界面线速度值。例如，如果对于直径为40mm的组件，其接头所需的线速度为2m/s，则其转速必为

$$\frac{60\text{s}\times 2\text{m/s}}{0.04\text{m}\times\pi}=955\text{r/min}$$

直径大些的组件，转速必须小些以保证接头处最佳的线速度。一般情况下，接头处线速度处于0.2～2m/s(0.6～6ft/s）范围，最佳值由试验获得。

2. 按时间焊接

焊接时间为组件之间旋转运动保持的时间。焊接时间越长，界面产生热量越多。和振动焊接相似，它也有一个稳态阶段，在这个阶段材料位移随着时间线性增加，当达到这个阶段时，驱动头继续旋转已无意义。随着材料和接头直径的不同，一般焊接时间为2～10s，最优的焊接时间取决于试验结果。

3. 按位移焊接

如果已经预设了材料移动的距离，例如要求两个配合面无熔体溢出，那么焊接工艺就可按位移来控制，也就是说，当达到所要求的位移时，就可终止驱动头的旋转。和按时间焊接相似，只要达到稳定阶段，就可获得最优的焊接质量。可以在设备基座和驱动头之间安装一个位移传感器来监控位移随着时间的变化。

参考文献

[1] Cheney AJ, Ebeling WE: Methods for joining plastics parts. ANTEC 1958, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, July 1958.

[2] Takasu N: Friction welding of plastics. *Welding International*, 17 (11), p. 856, 2003.

[3] Nishimura H, Higuchi Y, Grigory SC: Spin friction fusion repair of thin wall Japanese PE pipe. Plastics Piping Systems for Gas Distribution, Conference proceedings, Florida, October 1997.

[4] Rotheiser J: Spin welding. *Joining of Plastics. Handbook for Designers and Engineers*, 2nd Edition, Reference book (ISBN 1-56990-345-9), Hanser Gardner Publications, Inc., 2004.

第 5 章　射 频 焊 接

5.1　工艺描述

射频（RF）焊接也叫高频焊接、HF 焊接或电介质焊接，是一种使用高频（一般为 27.12MHz）电磁能，利用材料的电气特性在材料中产生热量的焊接工艺。焊接材料必须能够将交变电场转化为热量。在电场中极性分子趋于电场方向取向，这样偶极的正电荷（负电荷）端就朝着电场中的负电荷（正电荷）取向了，这个过程被称为偶极极化。电场中的非极性分子取代电子云和电场方向一致（电子极化），这样正负电荷的中心不再一致。电子极化瞬时发生，并且不会产生热量。而射频焊接中高频下的偶极极化不是瞬时过程。由于偶极子试图与快速交变的电场取向一致，使得取向变得不同相。这种不完美的取向过程就引起了内部分子摩擦，并造成热量的产生。

电场方向变化的延时以及偶极极化的变化如图 5.1 所示。振荡电场 E 在极性材料中产生振荡电流 I，高频时，两条曲线的不同相通过相位角 θ 表示；失调角则由 $90° - \theta$ 或者 δ 来表示。每一个循环从电场所吸收的能量的多少由功率因数和耗散因数表示，其中功率因数用 $\cos\theta$ 定义，耗散因数或损耗因数定义为 $\tan\delta$，也就是电流耗散为热量的值和所传输的电流的比值。偶极极化的数量取决于频率大小和温度高低。在低频时，由于偶极取向和电场相同，所以电场的功率损失很低。在高频时，电场反向很快，以至于偶极的取向失步，这样功率损失就增加了，最终，功率损失达到最大值，使得频率继续增加，从而导致功率损失降低。偶极子在低温下极化程度低，但是随着温度的增加而增加[1]。

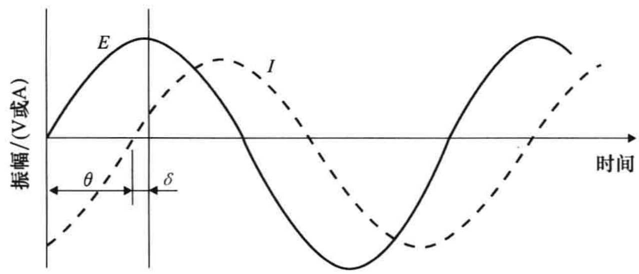


图 5.1　由于取向不一致产生热的偶极极化的电场表示

一般一个射频焊接机有两个台板：一个可移动的上板和一个固定的下板（也被称为底座）。上板和射频发生器相连，而下板和地线相连。工具，即电极或焊尺，安装在上板或下板上，用来确定焊缝的形状和尺寸。

焊件会安装在上、下板之间，压力机使上板下降，这样给接合面施加一个预设压力。一旦工件固定好后，射频能量以一定预设时间（也就是加热时间）释放。当加热时间结束时，让电极继续保持夹紧状态，直到焊接区域固化，这个过程被称为保压或冷却时间。然后卸去压力，取下焊好的工件。

射频焊接一般只用于连接薄膜和薄片。这是因为当电极和对应板间的间隙小于 1.5mm（0.06in）左右时，才能获得一个足够强的电场来使得材料熔融。

5.2 优缺点

射频焊接使用的设备简单、紧凑，只需要电源和压缩空气。另外，它不会向接头引入溶剂或粘合剂，将污染降到了最低，同时有助于焊件的回收。而且，焊接循环时间相当短（每分钟可加工近 20 个焊件）。除此之外，射频焊接机也不止用于焊接。电极可进行一定的组合，得到通常所讲的“撕缝（tear/seal）”，用它来将密封件周围的材料扯掉，而不用进行二次切割处理。也可以在产品中加入铰链或褶皱，不会产生划痕引起变形。

射频焊接的主要缺点是，只适用于焊接分子结构中具有极性基团的材料。非极性塑料也可以焊接，但是要求在焊接交界面注入一些具有传导性能的复合材料[2]。

射频焊接的优缺点见表 5.1。

表 5.1 射频焊接的优缺点

优　　点	缺　　点
快速的循环时间	焊接厚度有限
经济	可焊材料有限
平面薄件的焊接效果理想	接头复杂性限制
能够同时焊接多层	组件尺寸的限制
易于实现自动化	
可重复性好	
焊缝外观优良（焊瘤最小）	
工具冷运行	

5.3 应用

射频焊接通常应用于文具用品中 PVC 塑料封面薄片和薄膜，例如活页夹子、支票簿封面、信用卡卡套以及书的封皮；另一个巨大的市场是充气产品，例如沙滩球、充气床垫、救生衣以及充气皮划艇。其他应用包括医疗用品，如结肠造口术和血袋（见图 5.2 和图 5.3）、一次性卫生衣和充气产品，例如血压测量腕带、充气床、气垫（见图 5.4）。蛤壳状罩板包装和其他形式的包装也适用射频焊接[3,4]。

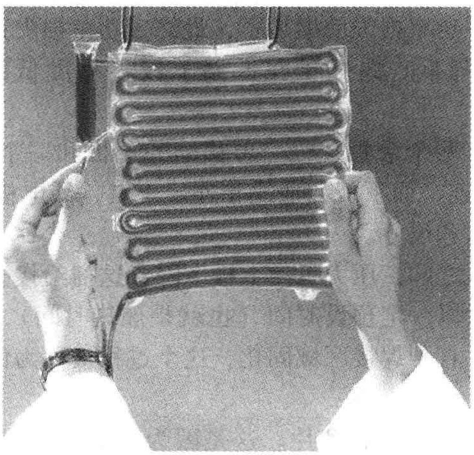


图 5.2　射频焊接的血袋（来源：英国焊接研究有限公司）。

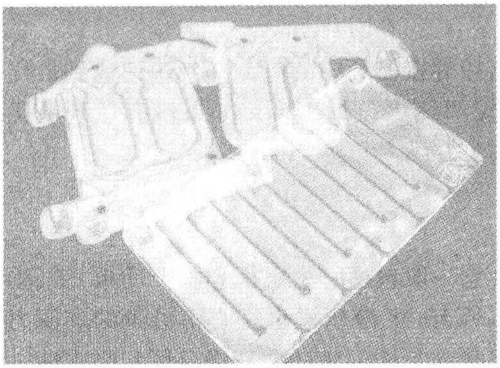


图 5.3 射频焊接的透析液体加热袋
（来源：电介体股份有限公司）。



图 5.4 射频焊接的轮椅气垫
（来源：电介体股份有限公司）。

5.4 材料

为了保证射频焊接工艺的焊接性，焊接材料必须具有以下性能：

- 高的介电损耗。
- 高的介电常数。
- 高的介电击穿值。

这样的材料包括 PVC、热塑性聚氨酯、尼龙、PET、醋酸纤维素、EVA、PVDC 以及一些 ABS 树脂。

和这种焊接方法不相容的材料一般包括 PTFE、PC、乙缩醛、PS 以及那些具有高熔点的刚性材料。标准级别的 PP 和 PE 也不适于这种焊接方式，但是特殊级别的 PP 和 PE 可用于射频焊接。

5.5 设备

射频焊接机械一般由六个主要的组件组成：射频发生器、控制单元、压力单元、射频罩、工件夹持机构和焊接工具。

5.5.1 射频功率发生器

发生器一般提供功率从 1 ~ 25kW 的射频。功率大小取决于焊接面积、焊接厚度以及材料的种类。发生器的电源首先通过固态整流器将输入的交变电流转化为高压直流电；然后振荡器将其转变为高压交变电流。功率大小通过功率计显示，这样操作员就可以通过监视焊接循环中的输出功率来检查焊接是否满足要求。当某一小的工作区域有大量的能量集中时，安全和超载保护设备就自动关断系统[3,4]。

5.5.2 控制单元

控制系统用来保证机器的起动、停止以及有效的运行。射频焊接机控制系统一般包括简单的机械控制系统，以及用于大型自动机械的复杂的电控系统，后者一般包括如微处理器和

可编程序控制器（PLCs）的软件控制设备。这些系统使得操作参数可以准确实施，同时又具有优良的可重复性。

为了补偿材料厚度的变化，使用电流监测器监控焊接循环中的电流；当快速达到最优电流时，电流监测器自动终止循环，防止“过焊”或“烧焦”的出现。如果没有达到最优电流，电流监测器将延长焊接时间，从而防止“欠焊”的发生。

5.5.3 压力单元

压力机或致动器用来在焊接过程中提供压力，它一般包括一个定板和一个动板。气动压力机最为常用，当然对于大型设备或焊接应用中，近50t的液压机也是必不可少的。压力机用可调的装有套管的导杆来做精确移动，一般由重载钢管构型来增加其稳定性和坚固性。

压力机主要有C形和桥形两种。C形压力机得名是因为其侧面看去类似字母C，由于压力机的主体是在机器的尾部，所以工作区畅通无阻（见图5.5）。在桥形压力机中，上板是在工作区两边进行支撑的，这种压力机结构更加对称，但是进入工作区域受到限制。

5.5.4 射频罩

它是一个安装在夹具和电极周围的罩子或笼子，用来保护操作人员免受电极释放的高电压的伤害，减少射频辐射，以遵守联邦通信委员会（FCC）和电磁兼容性（EMC）的规定。

这个罩子一般由金属网编制，既可以很好地屏蔽射频，又不妨碍操作员的视野（见图5.6）。

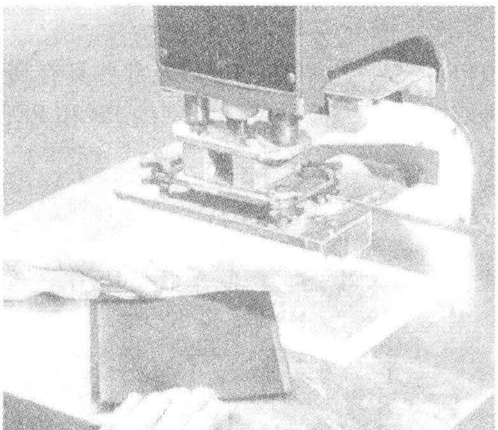


图5.5　C形射频焊接机械（来源：英国焊接研究有限公司）。



图5.6　具有金属网罩的射频焊接机械（来源：电介体公司）。

5.5.5 操作机构

操作机构先将焊件传送给压力机，然后将它们定位在电极下方正确的位置，焊接完成后移走焊件。主要有四种操作机构：手动式、旋转式、直线式和轨道式。

其中手动式的如通过脚踏开关操作的机器，其焊件往机器中的安装、定位，以及焊接后

的取出动作都是通过人工来完成。

在旋转式焊机（见图5.7）中，使用了具有一系列工位的圆形台。首先由一个或多个工人手工将工件安装到工位，然后圆形台旋转，将工件传送到压力机处。焊接操作结束以后，圆形台再次旋转，同时在焊接其他工件的时候，将焊好的工件手工取出。

在直线式焊机中，使用一个传送带将焊件供给压力机。传送带在正确位置停止，开始焊接，焊接完成之后继续移动移除工件。

当一个固定式机械无法适应太大工件（如游泳池衬层、防水帆布等）的焊接时，可以使用轨道系统。在这些系统中，焊件固定不动，而焊接压力机在轨道上移动来进行重复焊接。

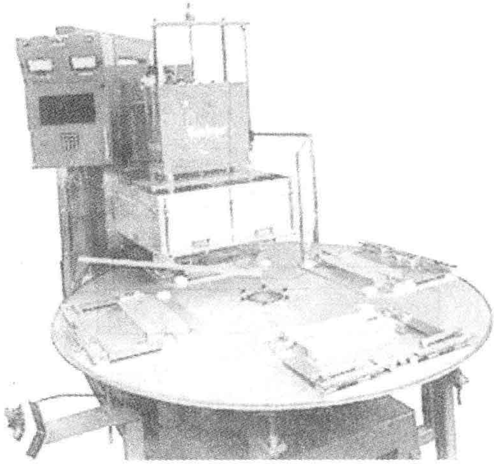


图5.7 旋转型射频焊接机械（来源：Cosmos Kabar）。

5.5.6 工具

工具（或称为电极）是焊机中压在工件上来进行焊接的组件，它由黄铜、纯铜或青铜金属片加工而成，一般厚2～4mm（0.08～0.16in），安装在由螺栓固定在上板的铝工具板上。电极可根据具体的应用加工成特殊的形状。在应用中，如果美学效果被当作一个重要因素，并且工件的几何形状和下部夹具不是平面配合的话，那么下部夹具也应当按工件的外形轮廓加工。这种焊接结构更加明确了电场，也更加明确了焊接区域。

5.5.7 阻隔材料

具有高介电性能的材料（指可以做阻隔材料或能起缓冲作用的材料）如酚醛层压板、电子青壳纸或聚酯薄膜都经常置于焊件和下板之间。这样做有两个目的：其一是它可以提供一个阻热层，减少热量向下板的耗散，其二它可以防止撕缝操作中电极和底板接触而引起电弧。

5.6 接头设计

根据电极或焊尺的不同形状，射频焊接可以焊接不同形式的焊接接头，包括平缝焊、撕缝焊以及两者相结合。

在平缝焊接（见图5.8）中，使用了一个平端面的焊尺。这种焊接用于生产褶皱，也可以通过改变焊尺端面图案的方法生产花纹型焊缝。

在撕缝焊接（见图5.9）中，使用了一个锋利的焊尺，这样可以获得一层非常薄的封口，焊接之后可以撕开，从而使焊接部分和它周围的材料分离。在这一应用中，必须在焊件下面放置一个阻隔材料以防止焊尺接触下板，否则会有电弧产生，引起焊尺钝化。

撕缝焊接方法的一个问题是由于焊接宽度太窄，焊接接头的完整性不高。因此，为了产生一个不需要二次切割操作就可轻易分离的高强度焊缝，电极可以设计成在焊缝边缘产生一个撕缝的形式，这可以通过在离平端面焊尺短距离处放一个锋利的焊尺来实现（见

图5.10）。

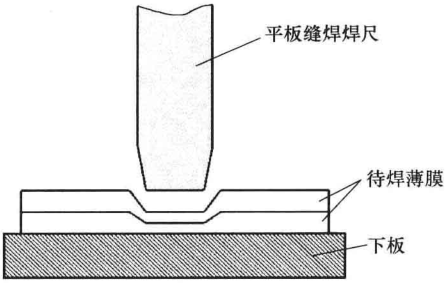


图5.8 平缝焊接
（来源：英国焊接研究有限公司）。

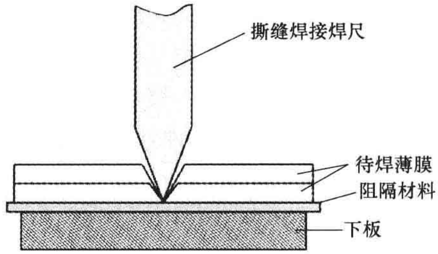


图5.9 撕缝焊接
（来源：英国焊接研究有限公司）。

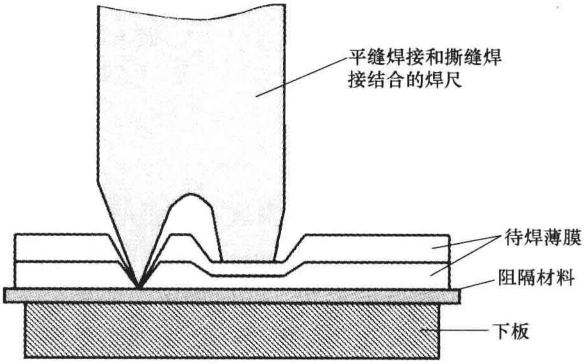


图5.10 平缝焊接和撕缝焊接的结合（来源：英国焊接研究有限公司）。

5.7 焊接参数

射频焊接中的主要参数如下：

- 功率。
- 加热时间。
- 冷却时间。
- 焊接深度。
- 压力。
- 工具板的温度。

5.7.1 功率

可形成焊缝的功率取决于一系列因素，包括：

- 材料的种类：损耗系数越高，功率要求越低。
- 材料的厚度：材料越厚，功率要求越低（因为热损失减少了）。
- 焊面面积：焊接面积越大，功率要求越高。
- 所需加热时间：所需焊接时间越短，功率要求越高。
- 密封长度：密封长度越长，功率要求越高（一个又长又窄的密封比面积相同的又短

又宽的密封所需的能量要多）。

- 阻隔材料：一般阻隔材料的使用会降低对功率的要求（因为热损失减少了）。

一般每千瓦可以焊接 10 ~ 30cm^2（2 ~ 5in^2）的焊接面积。

5.7.2 加热时间

加热时间为使用射频源的时间长度。最优的加热时间可以通过加热阶段对功率大小的监测来控制。一旦功率达到一个峰值或开始下降，就说明焊缝处的温度将不再升高，应当关断电源。

5.7.3 冷却时间

冷却时间即为射频电源关断后工件在压力作用下保持的时间长度。由于电极在工作中一般是冷的，所以冷却时间非常短（一般为焊接时间的 20% 左右）。但是在生产运行当中，应当增加冷却时间，因为工具会随着时间的推移而变热。

5.7.4 焊接深度

焊接深度用来控制焊接过程中工具热量渗透到工件中的深度。当使用平缝焊接时，焊接深度尤为重要。

5.7.5 压力

焊接压力的大小应当足以使工具热量渗透进工件达到所需的焊接深度。压力越大，焊接时间越短；但是，应当避免太大的压力，特别是在撕缝焊接中尤其要重视。

5.7.6 工具板的温度

如上所述，如果不控制工具板的温度的话，由于工具板在生产运行期间逐渐升温，就必须增加冷却时间。对工具板的温度进行恒温控制就可以在生产运行中得到一个恒定的冷却时间。因为热损失减少了，对于给定的功率来说，就可以焊接更大的面积。另外，一些像尼龙、PET 这样的材料一般不能用射频焊接，除非对工具板进行加热。

参考文献

[1] Litman AM, Fowler NE: Electrical properties. *Engineered Materials Handbook. Volume 2: Engineering Plastics*, Reference book, ASM International, 1988.

[2] Leighton J, Brantley T, Szabo E: RF welding of PVC and other thermoplastic compounds. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

[3] Besuyen JA: Bonding and sealing. *Modern Plastics Encyclopedia* 1992, Reference book (M603.1.2), McGraw-Hill, 1991.

[4] Thompson R: Assembly of fabricated parts. *Modern Plastics Encyclopedia 1988*, Reference book (M603.1), McGraw-Hill, 1987.

第6章　热气体焊接

6.1　工艺描述

热气体焊接又叫热空气焊接，是一种焊接质量取决于操作者的技术和经验的手工焊接方式。

在焊接过程中，热气体（通常是空气）用于局部熔融或软化焊条和工件。手工压力可以通过焊接喷嘴或者直接通过手施加在焊条上。在热和压力共同作用下使得焊条和母体材料融合在一起；可使焊缝的强度达到母体材料的90%。焊接操作者需要保持一个稳定的焊接速度，这样可以使焊接过程得到均匀的加热。就严格意义来说，焊条和焊件必须是相同的热塑性塑料，并且，在理想状态下它们应该有同样的等级。

在焊接之前，应对要焊接的表面进行清洗，确保任何污染物（比如污垢、粉末或者油脂）都被清除掉。对清理过的工件和焊条要进行擦拭以去除氧化层，确保获得一个没有污垢的焊缝。

热气体是由热气体焊枪（或者是喷枪）产生的。气流温度一般通过焊枪把手上的变阻器进行调节，目前有些热气体焊枪可以对温度进行精确的调节以确保产生的气体温度是恒定的。焊接温度（如焊枪中出来的气体温度）要根据焊接材料的类型进行专门的设定。使用推荐温度范围之外的温度，当暴露在化学品、热循环、溶剂以及机械应力下时，交接面焊接会失败。因此最好使用温度检测装置，以确保所使用的气体温度正确。一般通过焊枪的气体体积是60L/min。

焊接是在一个木制工作台上进行的，以防止过多的热量损失，刨花板和中密度纤维板（MDF）是理想的材料。要避免使用金属工作台，因为它会像一个散热器一样造成额外的热量损失。所有焊件都要安全地夹紧，以防止在焊接和冷却的过程中发生移动，这样工件可消除应力而不发生变形。

热气体焊接过程可以通过两种方式实现：手工焊接（也称作摆焊接、风扇焊接、慢速手工焊接或自由手工焊接），如图6.1所示；或者快速焊接，如图6.2所示。

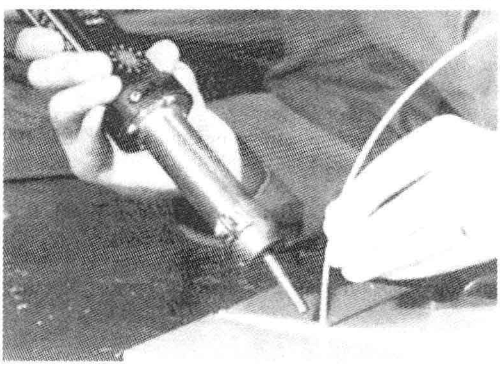


图6.1　热气体手工焊接
（来源：英国焊接研究所有限公司）。

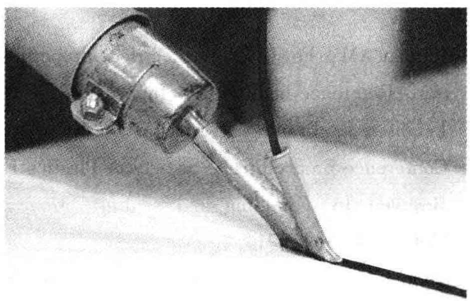


图6.2　热气体快速焊接
（来源：英国焊接研究所有限公司）。

为了获得高强度的热气体焊缝，焊接者手在焊枪上的位置和握力都是很重要的。对于快速焊接来说，手应该放在柄下面，在焊接的过程中用力向下拉（见图6.3），这可以使得与焊缝相对应的焊枪的位置得到很好的控制。通过多次练习，可以很好地把握焊条和焊枪之间的速度和力度的大小，确保得到质量可靠的焊接制品。对于那些需要进行多次焊接的比较厚的焊件来说，保证每次焊接都能够冷却十分重要，这样可以避免聚合物过热，并且减少材料中的应力。在每次焊接之前，都要对焊条边缘和焊接件受热的表面进行刮擦（见图6.4）。

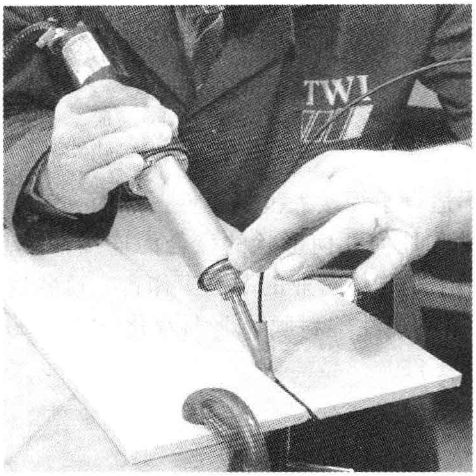


图6.3 热气体焊接中手的位置
（来源：英国焊接研究所有限公司）。

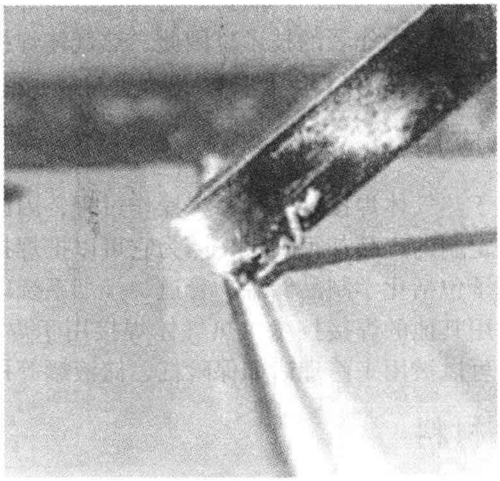


图6.4 在焊接过程中的刮擦
（来源：英国焊接研究所有限公司）。

在手工焊接中，焊条在没有焊接喷嘴的帮助下直接进入焊接接头，焊接操作者直接把力施加在焊条上。这种方式比较适合焊接体积小、复杂的零件，因为焊条可以在无法使用快速焊接喷嘴的焊接接头周围进行移动。焊枪的喷嘴可以迅速地沿焊条上下移动，也可以迅速地沿着焊缝移动，同时加热焊接面和焊条。当采用这种方式焊接时，在焊条上施加一个恒定的力和沿焊缝保持一个恒定的焊接速度是很重要的。由于焊接的力是由手施加的，长时间的工作可能导致手的疲劳，这可能潜在地影响焊接强度。为了克服这个缺点，建议在操作中进行短时间的休息。在快速焊接中，在每次焊接中的冷却和刮擦是必不可少的。

在手工焊接中，焊条相对于焊接件的角度是很重要的（见图6.5）。焊接PVC时，焊条相对于板面的角度应是90°，在焊条的根部有个可见的“弯波效应”。如果焊条向后弯曲得太多了，应力就会施加在焊条表面，并且如果进行随后的焊接，焊缝就会释放应力并且裂开，产生一些不需要的缝隙。如果焊条向前弯曲，焊接压力就很难维持，使得焊件质量较

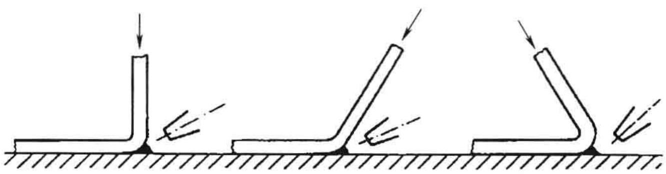


图6.5 热气体手工焊接中焊条的角度（来源：英国焊接研究所有限公司）。

差。焊条向后弯以确保取得向前焊接的运动，例如焊接 PP。“弯波效应”应该是可见的，因为这表明焊接对母体材料有足够的穿透能力。

6.2 优缺点

热气体焊接可以焊接任意尺寸和形状的组件，而且在所有的塑料焊接技术中设备的成本最低。热气体焊枪很轻，在不易操作的环境下也可以使用，较适合于场地维修，那里由于组件太大而不能进入工厂。然而，与其他塑料焊接方式相比，热气体焊接速度太慢，焊接质量又取决于焊接操作者的技术。因此，热气体焊接的操作者经过适当的培训和认证是很重要的一环（如应符合 EN13067 或者 AWS B2.4 标准）[1,2]。

6.3 应用

由于热气体焊接是一种手工操作过程，因此它不适合于焊接大批量工件。然而，对于焊接各种定制的产品却很理想，因为它可以把焊接工件和任何几何形状的接合面连接在一起。应用例子包括化学制品储罐、管道、排烟系统以及用于半导体行业的湿法工作台，这些场合很难使用其他的焊接技术。热气体焊接用于焊接屋顶热塑性塑料膜、潟湖及化学容器的衬层，也可以被用来修理诸如保险杠、储液罐等机动车零件。

6.4 材料

热气体焊接最常使用的热塑性塑料有 PP、PE、PVC 及含氟聚合物（PVDF、FEP、PFA 和 ECTFE）。在大多数情况下，使用材料的选择基于其耐化学性、最大工作温度和压力、成品的设计寿命。其他用热气体焊接的材料有 ABS、PC、腈纶、聚酰胺。热气体焊接也用于修理由 PC/PE、PBT 或者 EPDM 制成的汽车保险杠[3]。

6.5 设备

热气体焊接设备包括气体源、手柄、加热装置和焊接喷嘴。

热气体焊接中气体可以为压缩空气或鼓风机吹出的气流。通常会使用一台鼓风机，因为它可以产生高速干净、干燥的气流。如果使用空气压缩机，要确保气体在到达焊枪前是干燥并且经过滤的，以避免任何杂质污染焊缝。

鼓风机既可以集成在热气体焊枪里面（见图 6.6），也可以是吹气管上的独立单元。

在制造工厂应用中，需要很多焊枪同时工作，且主要在工作台上进行，使用一个大型鼓风机同时为多支焊枪提供气体。这种情况下，一定要确保鼓风机能为所有需要气体的焊枪提供气体，而不发生气流中断。

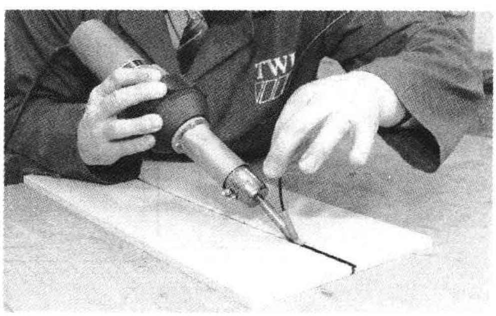


图 6.6　使用内置鼓风机的热气体焊枪（来源：英国焊接研究所有限公司）。

在焊接 ECTFE 时，推荐使用氮气作为气体媒介。这主要是由于健康和安全因素，因为在气体中焊接产生的烟会引起聚合物烟雾热。作为一项额外的防范措施，建议使用局部排气，或者焊接操作者佩戴有独立供气系统的全副

面罩。

加热元件是绕在陶瓷芯上的电线圈，安装在焊枪筒内部。气体温度通常是通过焊枪把手上的表盘来设定的，通过二极管来控制；有些设备的温度是通过焊枪把手上的数字显示器来设定的，由温度控制微处理器来进行控制。

6.5.1 焊接喷嘴

焊接喷嘴安装在焊枪前端，它是可以互换的。热气体焊接喷嘴主要有三种形式：定位型、手动型、快速型（见图6.7）。

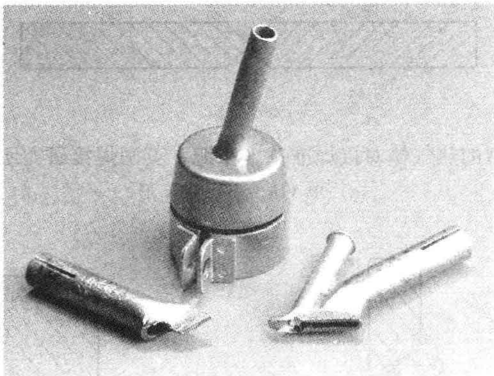


图6.7 热气体焊接喷嘴：定位型、手动型、快速型（来源：英国焊接研究所有限公司）。

对大多数应用，在使用焊条之前和使用焊条时，要使用定位型喷嘴把工件保持在一起。当定位型喷嘴沿焊缝移动时，从喷嘴后部喷出一股热气流，加热并软化待焊接件，然后定位型喷嘴的柄尖使物料熔融形成局部焊缝。定位型焊缝强度比较低，不应该作为把工件焊接在一起的唯一方式。

手工焊接喷嘴用于无法使用传统的快速焊接喷嘴的焊接场合。喷嘴的根部直径通常是5mm（0.2in）；根据应用场合，长度可以变化。在焊接过程中，喷嘴放置在离焊缝根部5～10mm（0.2～0.4in）处，并且沿着焊缝在焊条上方做摆动运动。

快速焊接喷嘴有一个与喷嘴前端相连接的独立的圆筒，通过它提供焊条。在快速喷嘴前面有一个小的柄尖，它引导焊条进入到焊缝，同时提供必要的压力使得焊条进入到焊件之中。用于预热母体材料的热气体通过喷嘴主体下部的槽喷到焊接件上。加料器管道直径和轮廓取决于焊条的形状和直径。对于直径为3mm、4mm、5mm（0.12in、0.16in、0.2in）的圆形焊条或5.6mm和7.4mm（0.22in和0.29in）的三角形焊条，可以使用快速焊接喷嘴。

6.6 焊接接头设计

对于材料厚度小于6mm（0.24in）的对焊接头来说，板的边应制成60°～80°（见图6.8a）的一个V形角。对于厚度大于6mm（0.24in）的对焊焊接来说，焊接接头的准备应是双V形角（见图6.8b）。在上述两种情况中，要有足够的焊接次数来填满准备好的连接接头；如果需要，可以对焊缝进行修饰来使其光滑，使零件表面没有凹痕和槽。在食品或者实验室应用时，需要一个无污染的表面，这是相当重要的一点。

图 6.9 展示了不同 T 形焊接接头的例子，通常由板材厚度和特殊的客户要求决定选择哪种焊接接头。图 6.10 展示了角接接头的典型设计。

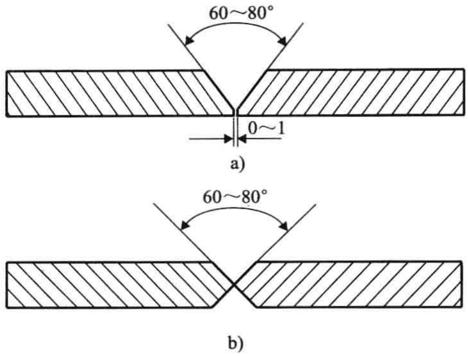


图 6.8 典型的热气体对接焊准备（来源：英国焊接研究所有限公司）。
a）单 V 形 b）双 V 形

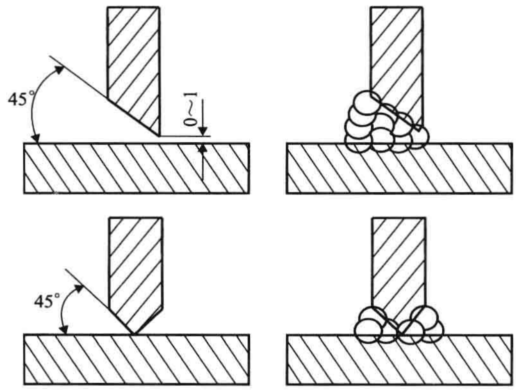


图 6.9 热气体焊接的 T 形焊接接头的例子（来源：英国焊接研究所有限公司）。

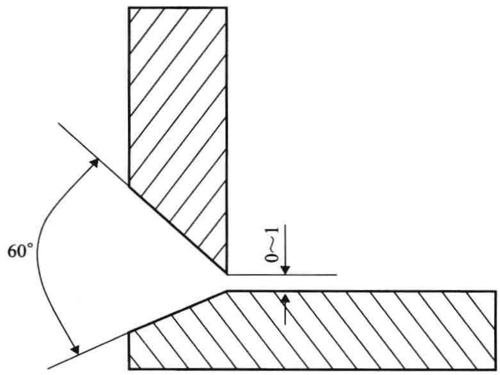


图 6.10 热气体焊接典型的角接接头（来源：英国焊接研究所有限公司）。

6.7 焊接参数

热气体焊接有四个主要的参数：温度、压力、速度和焊枪位置。焊接操作者必须具备必要的知识，能有效地实现及监控每一个焊接参数。如果不这么做，可能导致焊缝质量变差。

焊接温度是最重要的焊接参数，虽然焊接接头表面的温度不仅取决于从焊枪出来的气体的温度，也取决于焊接速度和焊枪与焊接接头相应的位置。

最佳气体温度取决于待焊件的材料，推荐的焊接温度范围可以从材料制造商那里得到。在焊接之前，应该使用温度校正工具在喷嘴内部 5mm（0.2in）处空气流的中间来测量一下温度（见图 6.11）。

在设定了热气体温度之后，使气流温度稳定是很重要的部分。尽管通过微处理器控制设备，温度的稳定会更快，但通常这个过程需要 10min 左右。在完成焊接过程之后，设定的温度应降低到 0℃，同时气体的供应继续进行。这样就可以使得加热元件自然冷却，而不会破

坏焊枪，延长加热设备的使用寿命。

焊接压力是焊接过程中一个很难控制的参数，因为焊接过程经常是手工进行的。通过一个压力敏感表对热气体焊接进行重复练习是一个确保可以获得恒定压力的方法。对快速焊接，通过手持焊条提供压力来进行融合，同时对喷嘴的柄尖提供压力。这是通过压低焊枪的手柄来实现的。对手工焊接，在焊条上只提供手的压力。

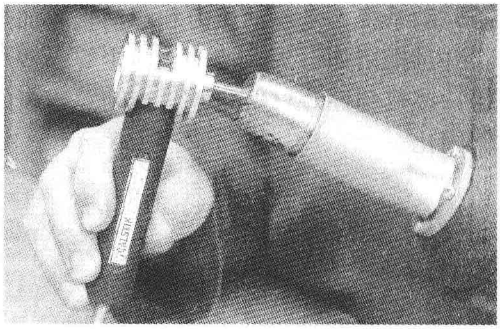


图 6.11　热气体焊接温度检测设备（来源：英国焊接研究所有限公司）。

焊接速度由焊枪的设定温度、待焊件的材料类型、焊条的直径来确定，应该使得焊接接头和焊条表面能够软化。如果采用了合适的移动速度，沿着焊缝边缘应该出现焊珠。在焊接 PVC 时，会显现出来比较有光泽、光滑的表面纹理；在焊接 PP 和 PE 时，可以看见焊珠表面有些平滑，而表面纹理非常光滑。沿着焊缝应没有明显的炭化或者变色，在焊接的过程中焊条不能拉伸。

与焊缝相应的焊枪的角度也是非常重要的焊接参数，因为预热可以使母体材料充分软化，确保得到一个完全渗透的焊缝。多次焊接中，焊枪的角度根据焊次的不同而不同。焊接接头结构的类型也影响焊枪的角度。

6.8　特殊热气体焊接

6.8.1　手工搭接焊

热气体焊接也用来连接薄膜材料，比如 PE、PP 和 PVC，在焊接时不使用焊条。这个技术的关键是热气体通过平的（鱼尾）喷嘴进入到两块要焊接的片材，并随后熔化两片材表面。喷嘴以稳定速度在片材间移动，在喷嘴后边会以手持辊或者一些其他钝的设备施加力，这样不会破坏或者击穿衬垫（见图 6.12）。热气体和施加压力的共同作用使得两个衬层焊接成一体。



图 6.12　PVC 薄膜的热气体搭焊（来源：瑞士莱丹集团）。

在焊接之前，应该清理要焊接零件的两面诸如污垢、粉尘之类的污物。焊接温度和接缝的速度根据膜的种类、厚度以及环境条件而改变。如果温度过高或者焊接速度过慢，会产生过多熔化物或者是表面变形。

6.8.2　自动热气体焊接

自动热气体焊接设备也可用于薄膜的搭接（见图 6.13）。压力和驱动辊通常带有滚花，给接缝施加压力并在焊接过程中随着设备一起移动。驱动电动机使用与楔式焊接设备相似的

链条驱动系统，来驱动压力和驱动辊。加热的气体通过喷嘴从薄膜中吹出，预热待接缝的材料，并且把诸如石头、沙子、粉尘等一些小的颗粒从表面吹掉。热气体从喷嘴的尖端流出，使得一些热塑性片材熔化并且流动。当新的材料通过压力和驱动辊进入时，熔融的焊接件冷却、固化。

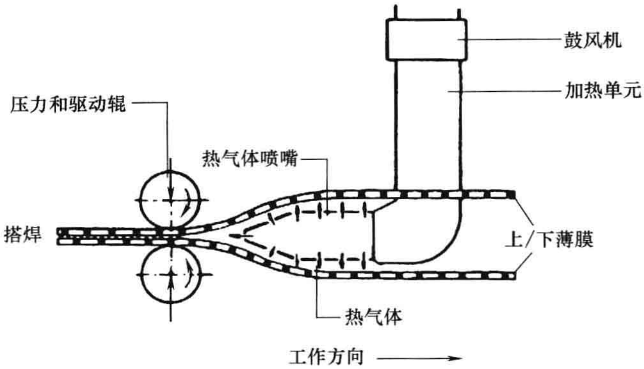


图 6.13 用于焊接薄膜焊件的自动热气体焊接设备的图解。

有两种主要形式的气流喷嘴；一种产生单股气流，另一种产生双股气流。如果需要双股气流，喷嘴在出口的地方会细分，成为两个单独的气流通道。

机器上的温度控制器要按照要焊接薄膜的种类、环境温度、焊接速度来确定。典型的焊接速度是 4m/min（13ft/min）。自动热气体焊接产生了稳定、可重复、高质量的焊缝[4]。

参考文献

[1] EN 13067: Plastics welding personnel—Qualification testing of welders—Thermoplastics welded assemblies, 2003.

[2] AWS B2.4: Specification for welding procedure and performance qualification for thermoplastics, 2006.

[3] Turner BE, Atkinson JR: Repairability of plastic automobile bumpers by hot gas welding. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

[4] Natrop J: *Welding of HDPE Geomembranes by Hot-Gas Welding Method*, Supplier technical report (FB 10), Malcom Co.

第 7 章　挤 出 焊 接

7.1　工艺描述

挤出焊接是适合生产热塑性结构件的焊接技术，早在 20 世纪 60 年代就已经开发出来了。在商业上大量用来焊接 PP 和 HDPE，而焊接 PVC 和 PVDF 时需要专门的设备。挤出焊接通常是用手工来实现的，也可以进行连续自动焊接。这个技术是用挤出焊枪连续挤出与待焊件同种材料（最好是同一等级）的熔融热塑性材料（挤出物）到两个工件间的焊接接头中（见图 7.1）。

挤出物在压力下挤压到焊接接头之前，焊接接头（焊缝准备）通过热气体预热到它的软化温度。这就确保了挤出物和工件融合在一起并且产生焊缝（见图 7.2）。



图 7.1　热塑性材料片材的挤出焊接（来源：英国焊接研究所有限公司）。

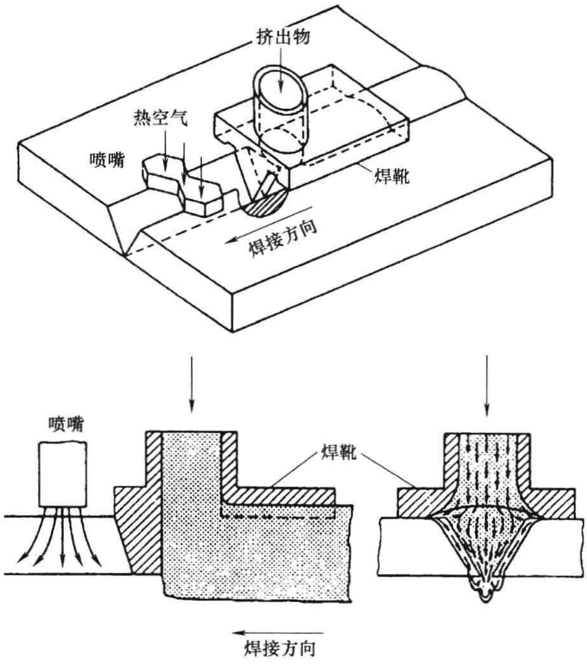


图 7.2　挤出焊接过程的示意图。

热气体焊接中，待焊件应该被清理、刮擦，通过机加工预先形成一个 V 形槽。采用安装了定位喷嘴的热气体焊枪将两个待焊接的工件初步装配到一起。除此之外，热气体焊接也用于焊接制备有坡口的焊件。这会确保焊件完全焊透，同时限制了挤出焊接过程中任何工件的移动。在焊接中也可以使用一个夹紧装置来固定两个工件。

在焊接之前，要确定挤出物的温度，并且要预热空气确保它的实际温度与挤出焊接机上温度控制器所设定的相同。挤出机也要进行清洗，任何在之前的焊接中留在机筒里的过度加

热或者降解的材料都要清理掉。

在焊接运行的开始，操作者通过慢慢地沿着焊缝来回移动挤出焊枪来预热工件。如果不这么做，挤出物会沉积在冷的材料上，这会使焊接质量下降。挤出焊枪在横向和纵向的放置角度必须正确，这样可以保证预热均匀，从而产生光滑的表面。可以通过手动在挤出物上以向下压和向前推的方式得到一个向前的运动，焊接的速度由挤出物的产出速率决定。

7.2 优缺点

与热气体焊接相比，挤出焊接最明显的优点是单次焊接可形成连续的焊缝，而热气体焊接是多次焊接形成焊缝。由于被移除材料的体积增加，挤出焊接时间比热容气体焊接更短。除此之外，由于可对焊接参数进行更精确的控制，最大焊接强度也比热气体焊接的更大。

与热气体焊接相比，挤出焊接最明显的缺点是设备的重量和尺寸。有些挤出焊枪的重量超过 12kg（26lb）。因此垂直焊接对于操作者来说是一种不太舒服的焊接方式。同样，由于设备的尺寸原因，焊接内角以及在有限空间内焊接是比较困难的。除此之外，同热气体焊接一样，由于焊接的质量取决于焊接操作者的技术，挤出焊接由通过正确的培训和认证的操作者来进行是很重要的。

7.3 应用

挤出焊接用于生产大型热塑性产品，比如储罐和管材，必须通过一次焊接制作大体积、均一的焊件（见图 7.3）。

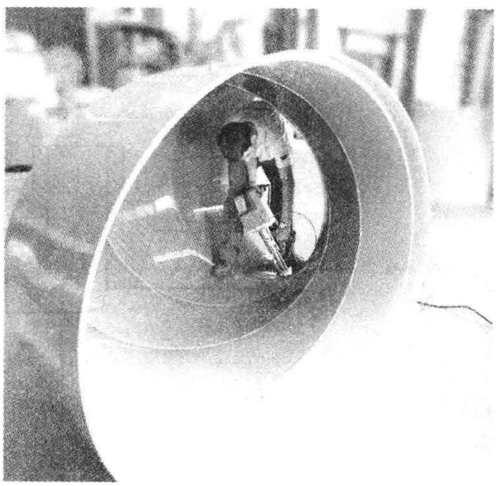


图 7.3　大型管件的挤出焊接（来自：瑞士莱丹集团）。

挤出焊接也应用于环保，比如用于垃圾清理场、潟湖、房屋屋顶建造的内衬材料（见图 7.4）。这个技术越来越多地应用在农业和水利工程，例如地面排水系统、沉淀池和人行道（见图 7.5）。



图 7.4 在垃圾清理场中挤出焊接一个 HDPE 衬层（来源：英国焊接研究所有限公司）。

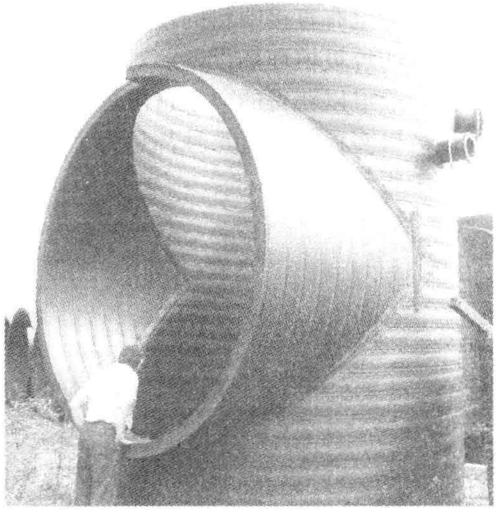


图 7.5 挤出焊接的雨水储存器（来源：英国焊接研究所有限公司）。

7.4 材料

挤出焊接主要用于焊接 PP 和 PE 制品，焊接 PVC 和 PVDF 制品需要专门设计挤出装备。在焊接 PVC 时，由于它的加工温度范围比较窄，在每次焊接之后，都要用 PP 或 PE 对挤出机进行清理，这样做的目的是确保在机筒里没有剩余 PVC 材料产生过热或者降解。

7.5 设备

挤出焊枪的主要组件如图 7.6 所示。装有改进传动装置的驱动电动机 1 驱动加热机筒里的螺杆转动，通过一对夹送辊 3 把焊条 2 输送到焊条输入点然后进入挤出机 4。目前的挤出机拥有一个专门的焊条喂料装置，防止焊条卷曲，并确保焊条持续地输出。这样改善了焊缝的均匀性，因为焊条上的弯折和卷曲而引起的输入变动会导致输出变动。挤出螺杆将焊条研磨成颗粒，这些颗粒随后进入塑炼室 5 渐渐熔化，随后通过加热机筒直到它通过 PTFE 焊靴 6 离开挤出机，形成所需要的缝的形状。待焊件被加热喷嘴 7 加热，焊接喷嘴由内置空气加热装置 8 提供空气。

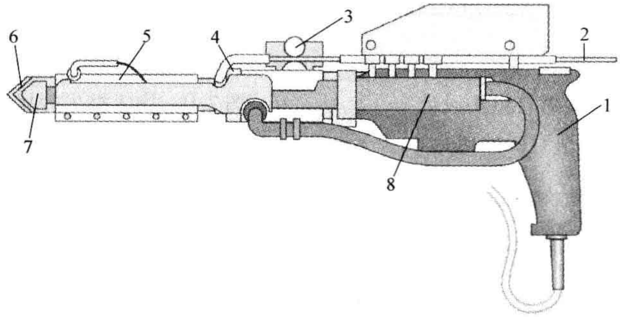


图 7.6 挤出焊枪的示意图（来源：英国焊接研究所有限公司）。
1—驱动电动机 2—焊条 3—夹送辊 4—挤出机 5—塑炼室 6—焊靴 7—加热喷嘴 8—空气加热装置

有些机器也有直接喂料的设备，而不是直接喂焊条。这些挤出机主要用在一些经常需要比较长的缝的垃圾填埋场设备。对料斗要进行遮盖，这样可以减少水分和一些污染物掺杂在原料中。当前可以获得的典型挤出焊接速度是0.5～1.0m/min（1.6～3.3ft/min）。

焊接坡口多种多样，每种都是为了特别的焊接零件和设备而制造的。不同焊接坡口的例子如图7.7所示。

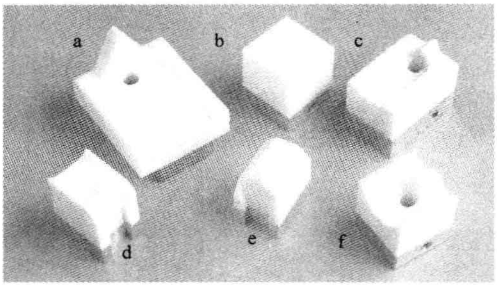


图7.7 挤出焊接坡口形式（来源：英国焊接研究所有限公司）。

a—用于厚截面薄板的对接焊接 b——块坯料，确保焊接工人可以对特殊的焊接接头塑造一个底槽
c—厚度为15mm（0.6in）的板材的对接焊接 d—焊接内衬材料、土工膜、水池衬垫、潟湖等 e—角焊接
f—用于制造角焊接的型材

7.6 接头设计

与热气体焊接一样，挤出焊接对接接头焊接坡口可以为单V或双V的形式（见图7.8）。焊接接头设计为T形接头，如图7.9所示，搭接焊接接头如图7.10所示。

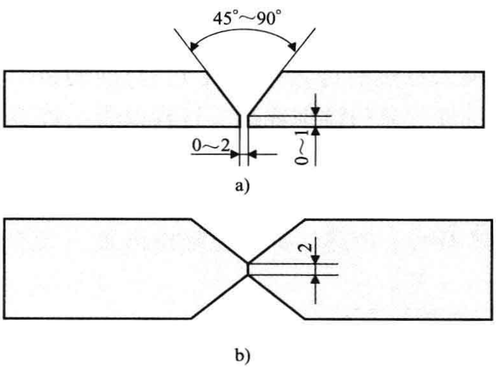


图7.8 典型的挤出焊接对接接头设计（来源：英国焊接研究所有限公司）。

a）单V b）双V

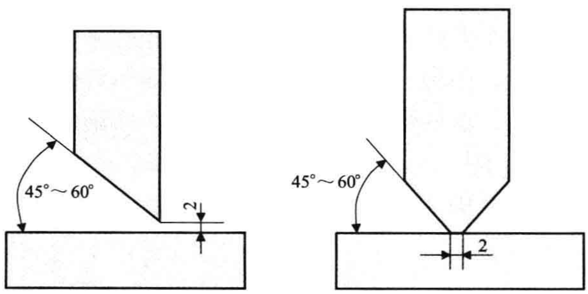


图7.9 用于挤出焊接的T形接头（来源：英国焊接研究所有限公司）。

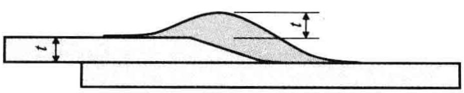


图7.10 用于挤出焊接内衬膜的搭接接头（来源：英国焊接研究所有限公司）。

7.7 焊接参数

在挤出焊接中的主要参数：

- 挤出速度。
- 挤出物温度。
- 预热气流速度。
- 预热气体温度。
- 焊接速度。
- 焊枪位置。

最大焊接速度取决于挤出速度、材料厚度、焊缝的横截面积、PTFE 焊靴的尺寸和设计。

PP 的典型挤出焊接温度：挤出物为230℃（446℉），预热气体为250℃（482℉）。对于 HDPE 来说，挤出物的温度在240℃（464℉）左右，预热气体的温度应该在260℃（500℉）左右。温度受环境条件和所使用的挤出焊接机种类的影响会有变化。在焊接开始之前，最好进行焊接试验，这样做的目的是为了优化焊接条件。图 7. 11 展示了使用正确焊接参数的挤出焊接；图 7. 12 展示了使用不正确焊接条件的挤出焊接。

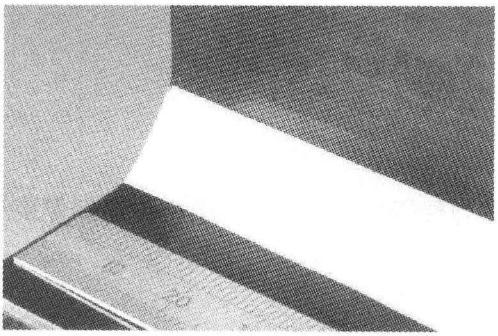


图 7. 11 使用正确焊接参数的挤出焊接（来源：英国焊接研究所有限公司）。

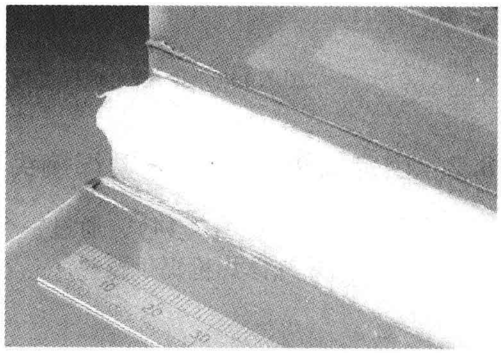


图 7. 12 使用不正确焊接参数的挤出焊接（来源：英国焊接研究所有限公司）。

焊接冷却速度对焊接接头的强度也有影响；如果可以的话，焊缝应该进行自然冷却。强制冷却会产生结晶结构，这种晶体结构暴露在化学品和应力下更易发生失效。

7.8 特殊挤出焊接

7.8.1 不连续式的挤出焊接

这种方式包括了挤出棒到焊接接头的手工传递过程（见图 7. 13）。在这个过程中，使用弹性 PTFE 管（见图 7. 13a）从加工的高输出挤出机上收集到一根挤出棒，然后将其导入焊接接头中，焊接接头已经使用热气体焊枪（见图 7. 13b）进行了预热。然后通过使用按压工具或者辊将其压入焊接接头（见图 7. 13c）。

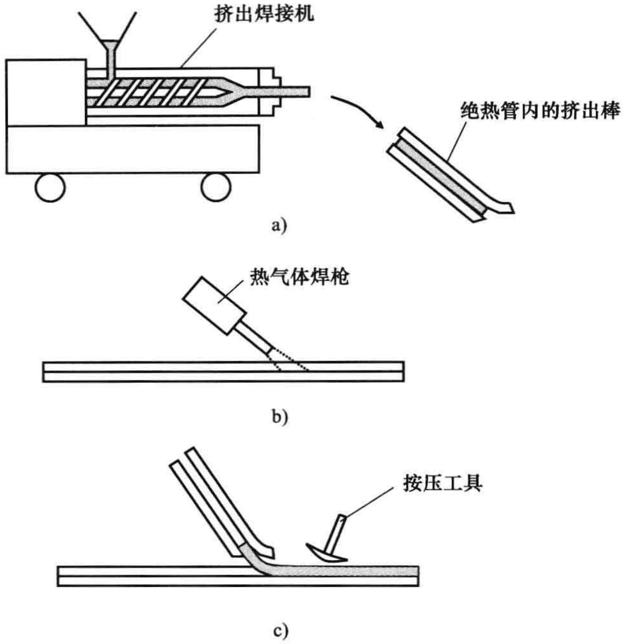


图 7.13　间断挤出焊接过程（来源：英国焊接研究所有限公司）。

7.8.2　固定式挤出机/可移动焊接头

在这种方式中（见图 7.14），通过一个加热的弹性管将挤出物从挤出机传递到焊接头，位于焊接头上的热气体焊枪提供预热。

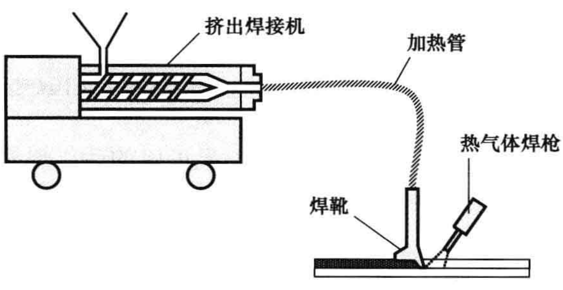


图 7.14　带有可移动焊接头的固定式挤出机（来源：英国焊接研究所有限公司）。

7.8.3　片材挤出焊接

在两块热塑性片材间产生一个搭接焊缝的焊接设备包括一个电动机驱动的小车，小车上放置着挤出机，同时通过辊子提供焊接压力。在小车上面还有一个热气体焊枪，焊枪插入到搭接缝里面在挤出口模前对薄片进行预热，挤出口模在片材间挤出填充材料（见图 7.15）。

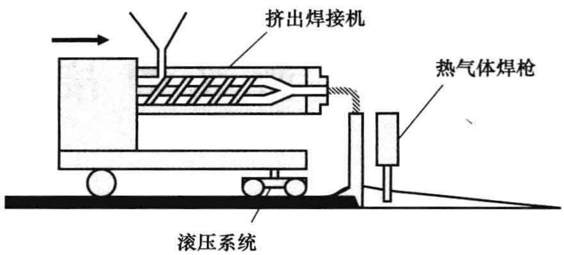


图7.15 板材挤出焊接过程（来源：英国焊接研究所有限公司）。

7.8.4 注射焊接

在注射焊接中，使用手持焊枪将受压的熔融热塑性材料注入接头部位形成焊缝，在此过程中不使用热气体；待焊件通过与焊枪的加热尖直接接触进行加热，焊枪的加热尖侵入母体材料的表面。为了确保得到足够的焊接强度，加热尖要与母体材料时刻保持接触状态。根据应用情况，可以使用多种可互换的焊接加热尖（见图7.16）。

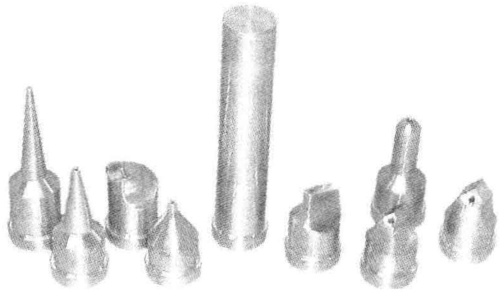


图7.16 用于注射焊接的可互换的加热尖（来源：Drader Injectiweld 股份有限公司）。

注射焊枪有一个自动喂料系统，操作者用一只手进行操作（见图7.17）。注射焊接的典型应用包括热塑性零件的修理、塑性零件的加工、衬里材料的焊接。注射焊接的一个明显优势是焊枪比较小，因而可用于一些使用挤出焊接够不到的内角和其他区域。这种焊接方式的另一个优势是不需要对表面氧化层进行清除。



图7.17 注射焊接（来源：Drader Injectiweld 股份有限公司）。

第8章 激光焊接

8.1 工艺描述

8.1.1 简介

激光焊接在20世纪70年代首先应用于热塑性材料，从20世纪90年代后期开始，被用于大批量生产。该技术适用于连接板材、膜材料、热塑性材料和织物，使用激光束去熔融焊接接头区域的塑性材料。由于易于控制光束尺寸（10μm~100mm宽），以及易于控制光束的精密定位和运动，激光很适合将控制的能量传递到精确的位置。现有的激光焊接的两种常用形式是直接激光焊接和传输激光焊接。

8.1.2 光与聚合物之间的相互作用

当辐射光线照射到材料表面时，一些能量被反射，一些被吸收，还有一些被散射掉。在激光焊接加工中，能量一定要在正确的位置被有效地吸收。光束和表面之间相互作用的类型取决于以下因素：

- 材料的种类和添加剂的含量，包括表面涂层的作用。
- 激光的波长。
- 激光的强度（能量，光斑大小或者形状，光束质量）。
- 光束在材料表面的运动速度。

当激光辐射完全被吸进聚合物表面时，其相互作用取决于波长的两种类型中的一种：

- 短波长的辐射（小于350nm或者紫外线（UV））引起光解过程，在这个过程中光子有足够高的能量去拆开化学键。该过程被描述为冷加工过程，可以用于消融、化学固化或者是其他化学变化，例如通过颜色变化进行标记。
- 长波长的辐射（长于350nm或者是延伸到红外线（IR））引起了包括加热的热解过程。这个可以用来熔融并用于焊接，或者是以更高的强度用于汽化或者热降解，例如激光切割。

除了吸收能量，聚合物也散射光，特别是半结晶聚合物，其球晶大小通常适合散射紫外线、可见光或红外线辐射。

典型聚合物长波辐射吸收特性如图8.1所示，通过图可以看到有一个分布带，约为400~1600nm，在此带宽内几乎没有吸收（即高传输）。因此，二极管、纤维和Nd：YAG激光能轻易地通过聚合物进行传输，可用于传输激光焊接。而CO_2激光被迅速吸收进入表面，可以通过直接加热的方式切割或者焊接薄膜。

最后，应该考虑不同聚合物以及添加剂之间对辐射吸收的不同。图8.2展示了不同聚合物在一定厚度范围的传输特性。尼龙、PE和PP等半结晶聚合物展现了随厚度增加传输量快速减少。少量炭黑颜料的添加有效地将传输效应减小到零，这种作用在焊接中很重要。将炭

黑和其他红外光谱吸收介质放在一个特定的加热或焊接所需要的位置，这就使得，如果吸收介质是在下部材料里面或者表面而不是在上部材料里面，可以进行传输激光焊接。

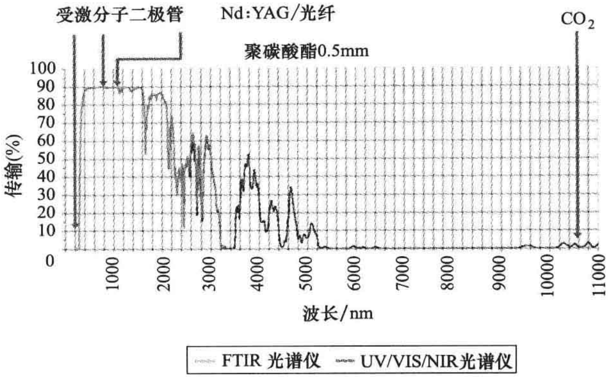


图 8.1 对于 0.5mm（0.02in）厚的聚碳酸酯的透射光谱展示了主要的激光类型（来源：英国焊接研究所有限公司）。

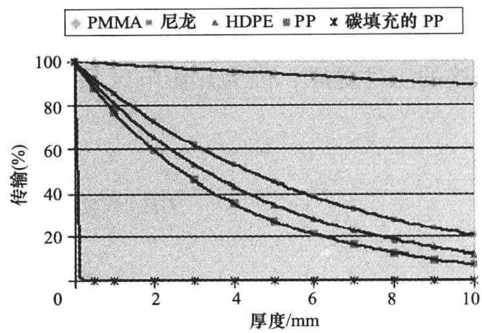


图 8.2 激光传输与不同聚合物厚度之间的关系（来源：英国焊接研究所有限公司）。

8.1.3 直接激光焊接

在直接激光焊接中（见图 8.3），材料可以从外表面开始加热，直到几毫米的深度。正常的情况下，塑料不再添加特殊的辐射吸收介质。通常情况下，使用波长为 2.0 ~ 10.6μm 的激光源。在波长为 10.6μm（CO_2激光）时，辐射被大量地吸收进入塑料表面，允许在薄膜中形成高速焊接接头。研发使用一层CO_2激光透明覆盖层作为夹钳和散热片来焊接较厚的塑料，在表面没有材料损失。在波长为 2.0μm 时，吸收量差一些，光纤激光和 Ho：YAG 激光可以被用来焊接几毫米厚的板材。直接激光焊接没有被广泛地应用于塑料焊接，但是它有可能得到更广泛的应用[1-3]。

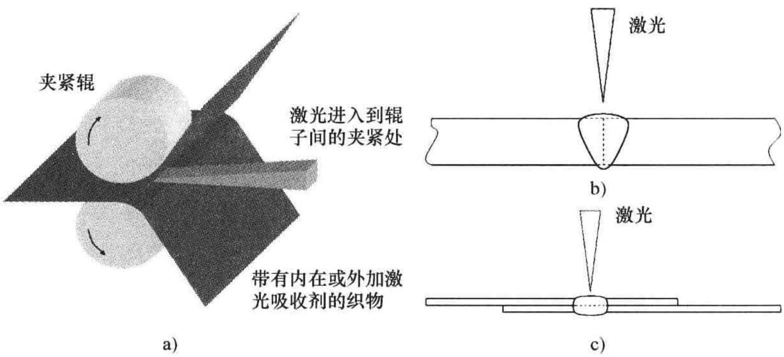


图 8.3 直接激光焊接形式（来源：英国焊接研究所有限公司）。
a）焊接进入到两个辊子的夹紧处 b）对焊 c）薄膜搭焊

8.1.4 传输激光焊接

传输激光焊接现在广泛地用于连接热塑性塑料，其使用波长为 0.8 ~ 1.1μm 的激光光

源，例如二极管、Nd：YAG激光器、光纤激光器，这些波长的辐射不太容易被天然塑性材料所吸收。因此，激光吸收添加剂被加入到下部工件，或作为一层表面薄涂层涂在焊接接头处。工件在焊接前要配置到一起，激光束通过上部工件加热下部工件吸收表面处的焊接接头（见图8.4）。下面塑料的吸收介质一般是碳或者具有最小可见色彩的红外线吸收介质，例如Clearweld®，它使得很大范围颜色和外观的工件可以进行焊接。传输激光焊接比直接焊接能焊接的工件更厚，因为热影响区只限制到焊接接头区域，因而外表面不产生焊纹[4]。

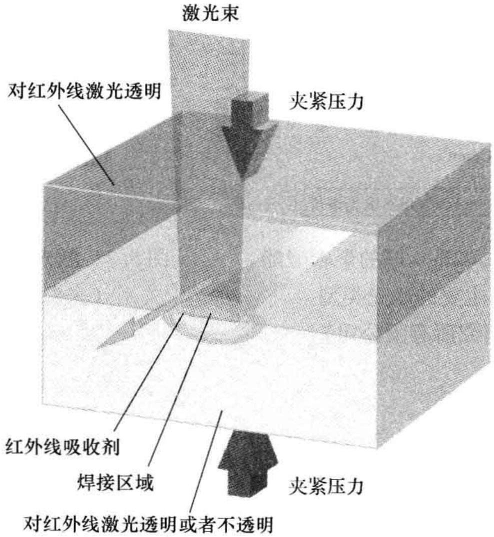


图8.4 传输激光焊接的示意图，展示了光束在工件上的运动。下面的工件可以是一个红外辐射吸收介质或者将吸收介质放置在焊接接口（来源：英国焊接研究所有限公司）。

上部工件的最大厚度由材料的传输特性来决定，必须超过10%的能量传递到焊接接口才可以进行传输激光焊接。

传输激光焊接也可用于焊接膜材料和板材。采用滚动加工方式，在夹紧之前，激光源要对两个工件进行扫描。

传输激光焊接的例子如图8.5所示。

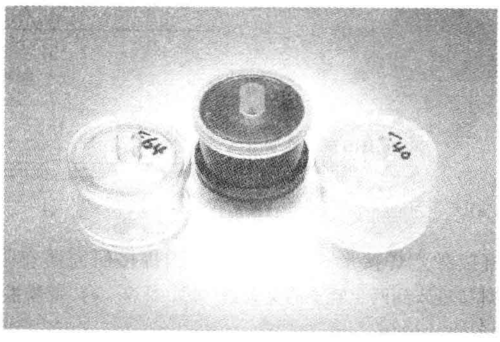


图8.5 被焊接的工件使用有炭黑吸收剂（中间）和Clearweld®吸收剂的传输激光焊接（来源：英国焊接研究所有限公司）。

8.2 优缺点

传输激光焊接的优点和缺点见表8.1。

表8.1 传输激光焊接的优点和缺点

优 点	缺 点
工艺过程自动化	顶部工件必须传送激光辐射
良好的检测和质量控制流程	其中一种塑料或在接头表面必须添加激光吸收材料
通常情况下接头可设计成简单的平面与平面的焊接	设备可能会很贵
密闭和密封的可能性	接头表面质量必须好
快速焊接（ $<1s$ ）的可能性，受尺寸影响	工件的夹紧要仔细设计，保证焊接时它们要接触
与被加热的工具不接触	激光的使用涉及健康和安全问题
没有振动	工件厚度有限制，尤其是高结晶材料，例如PEEK
没有微粒产生	
焊件的精确位移（$\leqslant 50\mu m$）	
无表面的损坏	
低的残余应力	
可焊接复杂形状	
局部加热-靠近焊缝处无热损坏	
可同时进行多层焊接	
可焊接薄的、柔性的基材或弹性体	
适合于高熔点聚合物和那些低熔体粘度的物质，例如聚酰胺	
使用相容的IR-吸收中间层能够焊接不相同的材料	
很少或没有飞边溢料	

8.3 应用

激光焊接使用的范围很广，包括如下领域：

- 电子封装。
- 纺织业。
- 生物医学设备。
- 窗口和标志。
- 食品和医学包装。
- 视觉显示。
- 汽车零部件。

8.3.1 膜和片材

直接激光焊接可以以很高速度在薄的材料上得到小焊缝。图8.6展示了使用CO_2激光焊接PE膜的情况[1]。

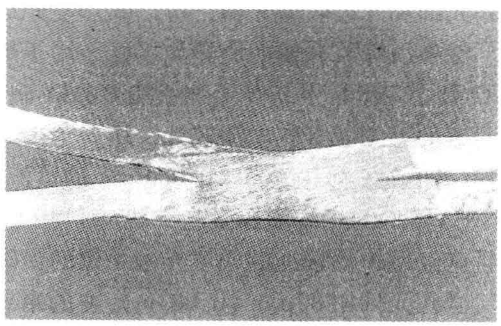


图8.6 100μm（0.004in）聚乙烯薄膜的CO_2激光焊接，焊速100m/min（328ft/min），激光器功率100W，焊缝约0.5mm（0.02in）宽，从上面加热（来源：英国焊接研究所有限公司）。

8.3.2 成型零件

汽车：激光焊接在汽车应用领域得到了迅

速的发展，因为它可以进行高速、自动地生产且质量优良并一致。此技术应用于许多领域使生产成本得到降低。它用在诸如车牌、门把手、显示屏、电子钥匙、水泵（压力容器）及气动调节阀和灯组等领域，也可用于硬质塑料与地毯板面的焊接。现在也在考虑将激光焊接用于“全塑料”汽车车身板的焊接[5]。

工业领域：激光焊接用于连接尼龙 12 气体管，并且已经在平板加工储液罐的制造中取代了热气体焊接（见图 8.7）[6,7]。

医药方面：通过使用 Clearweld 技术，完全透明的产品可以用激光焊接，这对于医药领域尤其重要。图 8.8 是一个使用激光焊接透明的医疗设备的例子[8]。

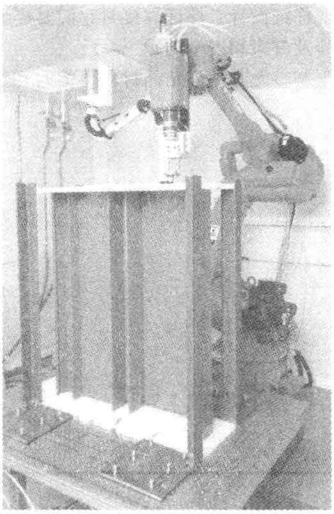


图 8.7 聚丙烯平板加工储液罐的激光焊接（来源：英国焊接研究所有限公司）。

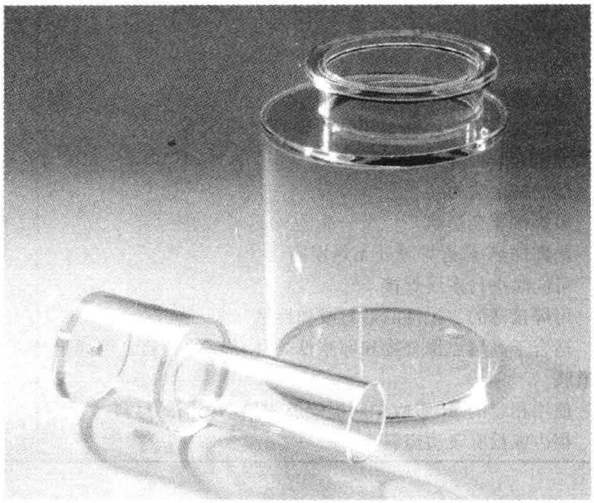


图 8.8 PMMA 医疗装置，采用 Clearweld®涂层进行焊接（来源：英国焊接研究所有限公司）。

微型焊接：在各种现有的塑料焊接的方式中，激光焊接最适合焊接尺寸小于 1mm（0.04in）的产品。调整设备使定位组件（和激光源）的精度小于 1μm。对 Nd：YAG 激光器、光纤和二极管激光器，可以聚焦使光斑宽度尺寸小于 100μm（0.004in）[9,10]。

红外线吸收介质的旋转涂层已经用于焊接 250μm（0.01in）厚的聚碳酸酯箔，使用 Nd：YAG 激光。由聚甲基丙烯酸甲酯 PMMA 制作的、包含 300 个宽度和深度是 50μm（0.002in）的通道的毛细管凝胶电泳芯片，用一个 15mm 宽的二极管激光源在通道上焊接一层膜来进行密封。通道宽为 100μm（0.004in）的微流控设备通过使用激光屏蔽设备进行焊接。低功率（小于 1W）的光纤耦合激光二极管可用来提供聚焦宽度是 25μm（0.001in）的聚焦光斑，而且已经用于焊接纯的或填充了炭黑的聚碳酸酯、宽度为 50μm（0.002in）的焊缝[11-14]。

微孔元件用 80μm（0.003in）宽的半导体激光源来焊接。半导体激光源形成的密封比粘接有更好的质量，据说低功率的半导体激光源在 PETG 的焊接中焊缝可以窄到 10μm。现在还研发了一种工艺，利用 5～20nm 厚薄的碳涂层作为吸收介质来焊接 100μm（0.004in）宽的通道。尺寸更小的零件（10～30μm），以及多层结构也可以建议用这种方式焊接[15-17]。

一种替代方法是，在焊接过程中，在微孔中充满保护性载体，可以避免内表面产生毛边，而且可以使内孔壁宽度降至 40μm（0.0016in）。在焊接之后保护性载体从孔中冲洗出来[18]。

8.3.3 纺织业

织物通常是通过缝制来连接的，这是个高劳动强度的过程，造成全球范围内织物生产成本的高昂。织物缝制连接时存在一些针孔，这就对线缝的最终强度产生不良影响，同时也限制了需要密封的线缝的性能。

激光焊接在纺织工业上应用的主要优点包括以下方面：生产率高；线缝密封性好；无需熔融织物外表面；单面焊接，因而焊缝可以在织物的其他层之下；线缝柔性好；可用于自动焊接的机器人操作。

针对诸如安全气囊、组合床、医疗家具以及服装（见图8.9）等一些应用的研究，成功地展示了满足这些应用性能要求的典型线缝[19]。

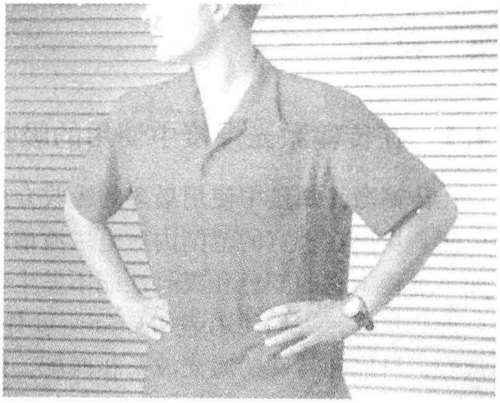


图8.9 激光焊接线缝的编织聚酯衬衫（来源：英国焊接研究所有限公司）。

用于纺织业的激光焊接的步骤一般是基于传输激光焊接的Clearweld的方式，但是使用二极管或者 CO_2 激光源的直接焊接也是可行的。

使用六轴机器人进行操作的二极管激光的例子如图8.10所示，速度可以达到3～10m/min（10～33ft/min），这取决于激光器功率和织物的种类。一个比较好的焊接微观结构如图8.11所示。

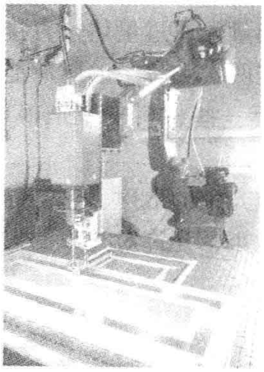


图8.10 机器人操作二极管激光焊接饰面材料到PVC涂层木质软垫沙发抽屉（来源：英国焊接研究所有限公司）。

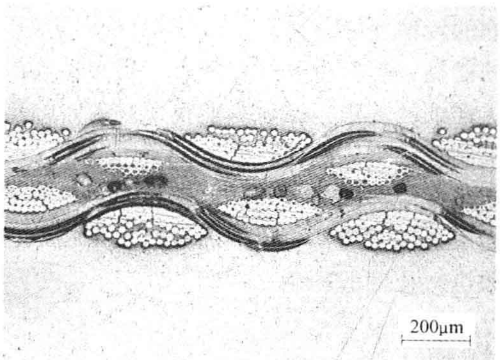


图8.11 激光焊接尼龙66织物的微观结构，展示了位于中间的水平熔线以及熔线上下穿过经线和纬线纤维的横截面（来源：英国焊接研究所有限公司）。

研究激光焊接技术制造汽车窗帘式安全气囊，其在侧面冲撞和多向翻滚时提供头部保护（见图8.12）。结果显示此技术所获得的线缝的泄漏和压力性能达到用传统法获得的线缝的水平。



图8.12 窗帘式安全气囊（来源：Autoliv）。

激光焊接织物可以更大程度地实现自动化，

保证高产量，并且质量更好，生产者更具有竞争优势，还可以降低生产的劳动力成本，就近焊接也可以降低运输成本。除此之外，这个过程也可以降低噪声等级和工作中的工伤事故。

在材料、夹紧方式和织物选择上的研究进步使得激光焊接织物在生产速度、自动化、质量改进上有了很大的提高，目前已经很成功地在一些简单的应用上得到使用，也许将来可以使用这个技术制作更复杂的制品。

8.4 材料

8.4.1 在传输激光焊接中使用的吸收介质

在传输激光焊接中使用最多的吸收介质是炭黑，一般炭黑都作为添加剂添加到高分子树脂里面。炭黑在较宽的范围内对电磁波谱的吸收相对比较均匀。当作为吸收剂用于焊接时，在加工过程中它的颜色和吸收性能不发生变化。

近些年来，人们使用诸如 Clearweld 作为波长选择吸收剂，其对于红外波长的吸收效果非常好，可以和特殊的激光波长相匹配，但对于可见光波长的吸收效果差一些，因此它几乎没有可见的颜色。通过使用液体沉积技术或者作为高分子树脂中的添加剂，它可以作为涂层位于焊接接头的交界面处[4]。

8.4.2 塑性材料的激光传输测量

在传输激光焊接中，最接近激光的工件有超过 10% 的透射率较好。因此，测量辐射通过聚合物的传输性能，以此作为焊接性的指导，是有很用的。测量先通过量热仪直接测量激光脉冲的能量，然后将测试材料置于传感器和激光源之间，对这两次测量中的脉冲能量进行比较。更详细的测量包括表面能量的反射，表面能量的反射对于一些材料来说是很重要的，但也会限制焊缝得到的能量。

半结晶性塑料的球晶和任何颗粒或者纤维添加剂都会导致激光束的散射，这会导致焊接接口处光束强度的降低。可以通过测量来指出这种散射作用的大小，允许对光束的尺寸以及工艺参数进行相应的控制。

8.5 设备

8.5.1 简介

激光焊接设备的主要组成如下：

- 电源，包括用于高功率激光源的冷却装置。
- 激光源。
- 光束传递光学元件（透镜、反射镜或者光纤基材）。
- 光束聚焦或成形光学元件，包括外罩（如果需要的话）。
- 光纤束操作，例如电流计控制的反射镜。
- 工件夹紧和支撑元件。
- 工件操纵元件。

8.5.2 激光器的种类

用于传输激光焊接的激光器的主要种类是二极管激光器、Nd：YAG激光器、波长为0.8~1.1μm的光纤激光器。更长的红外波长激光器、CO_2激光器和其他波长范围在2.0μm的激光器可以用于直接焊接（见表8.2）。

表8.2 用于塑料焊接的激光种类

	Nd：YAG	二极管	光　纤	CO_2	Ho：YAG或Tm：YAG
波长	1064	780~980	1000~2100	10600	~2000
效率①	3	30	20	10	3
功率100W系统的大约成本/千美元	80	20	60	20	200+
光束质量②	高	低	高	高	高

① 效率是激光器发射光束消耗电能的百分率。
② 光束质量是把光束聚集到一个高能量密度的小光斑上的能力。

Nd：YAG激光器：Nd：YAG激光广泛用于材料加工工业。功率高的系统体积庞大，功率低的系统相对来说比较紧凑，一般都需要水冷却。光束通过一个光纤从激光源传递到工件，可以把多个激光源的光束集合起来以产生更高的功率。强的光束质量可以产生小的光斑尺寸。

二极管激光器：二极管激光器产生波长为780~980nm的激光，其也需要水冷，相对比较低的光束质量意味着它们不能被用来生产斑点尺寸像Nd：YAG或者光纤激光器那样小的斑点。然而，这对于塑料激光焊接不是个问题，其相对较低的购买和运营成本已经引起了人们很大的兴趣。光束可以通过光纤传递，但是二极管非常小，所以经常可以采用导向系统产生光，此处二极管和一个透镜系统包含在一个装置里，典型尺寸是150mm×150mm×300mm（6in×6in×12in）。该装置可以方便地被安装在一个门式系统（gantry system）或者是机械手上来操纵激光束（见图8.13）。

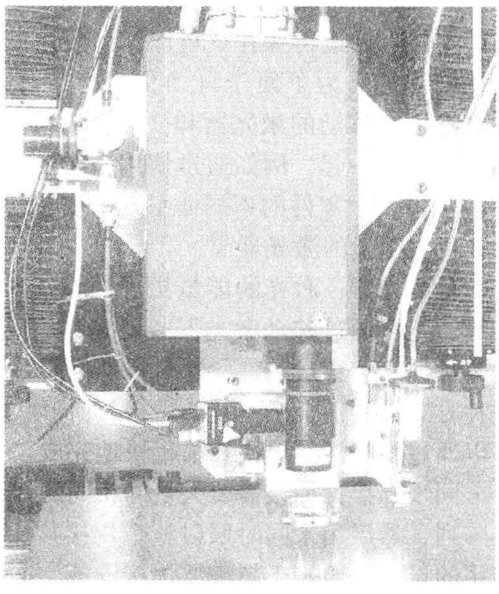


图8.13 安装在门式系统上的二极管激光器。

纤维激光器：稀土铒纤维激光器一般提供波长为1000~2100nm的激光。在材料加工领域，人们更关注用波长在1100nm左右的激光去替代拥有相同光束质量但效率更高的Nd：YAG激光器。纤维激光器系统结构相对紧凑，可以进行空气冷却。在塑性材料焊接领域，纤维激光器的使用可以用于很多领域，包括精密焊接，薄膜、织物和较大的成型零件的焊接。

CO_2激光器：CO_2激光器在工业上广泛用于切割塑料材料。由于拥有气流系统，大功率

的设备比较笨重，而小功率的设备比较紧凑。光束通过反射镜从激光源到工件。可以得到尺寸小于200μm（0.008in）的聚焦光斑。

2.0μm 波长的激光器：波长在2.0μm 范围的YAG 和光纤激光器，比其他激光源使用得更少而且价格更高。光束可以通过光纤进行传递，通常光束的质量比较好，可以提供更小的聚焦光斑尺寸。

8.5.3 光束传输

用于激光焊接的光束或者工件操作设备（见图8.14），由其中之一或者几个组合在一起。

移动工件：激光器固定，通过滚轴或者一个单轴/双轴移动台操纵工件形成连续焊缝。这种类型的系统很容易安装和运行，但一般不会用于三维焊接。

移动激光器：用于纤维传递激光器的光学系统或者是用于直接半导体激光器的激光头可以安装在各种机器人系统上，这个范围包括从简单的双轴门式系统到多轴机械手系统。激光在待焊件附近进行操作，可以产生复杂三维焊缝。为了便于自动化生产，可以把一个移动的激光器和一个移动工件结合在一起，例如通过使用一个旋转台将一个零件的不同面呈现给安装在机械手上的激光器。

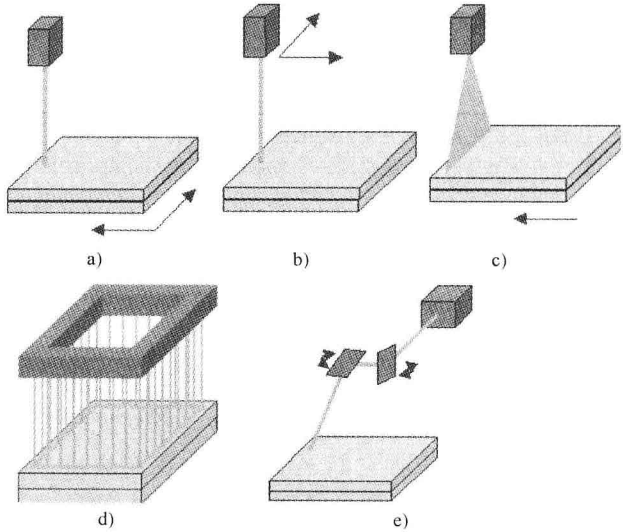


图8.14 激光焊接的方法（来源：英国焊接研究所有限公司）。
a）移动工件 b）移动激光器 c）幕激光器
d）同步焊接 e）扫描激光器

幕激光器：激光的能量扩展为一条线，然后通过移动激光器或者是移动工件使光幕穿过工件，这时特别使用一个外罩来确保只有工件的相关区域暴露在辐射中。这种方式特别适合于有复杂焊接几何形状的小零件。通常用这个过程来产生两维焊缝，焊接可以通过线光源的单次扫描很快地完成。

同步焊接：如果需要大量的相同的焊缝，可以按照要焊接的焊缝的形状布置二极管激光器阵列，然后用来同时照射整个焊接接头，整个过程只需要1~3s，特别适合于自动装配。使用的设备一般基于超声波焊接设备，这个工艺过程代替超声波焊接用于成型外观精美的制品，或者是用于对振动敏感的零件，可以进行二维和三维的焊接。因为整个焊接接头是在同一时间焊接的，这就允许聚合物在焊接接头处有更多的缺损，因此也允许更大的工件公差。

同步焊接的方式包括光导向装置的发展，由光纤束提供，依据待焊件的形状进行定形。因此，光导向装置同时具有加热和夹持整个工件的功能[20]。

扫描激光器：激光的辐射通过一副正交旋转的反射镜来操纵，辐射面积在50mm×50mm（2in×2in）到1000mm×1000mm（40in×40in）范围。一般来说，更大的工作区域意味着更

长的工作距离和更大的光斑尺寸，可以协调许多扫描系统来获得更大的工作区域。一般只进行二维焊接。

重复地以高速沿着相同的路径扫描激光可以用来进行准同步焊接。对于同步焊接，它在同一时间加热整个工件面积，允许在焊接接头处的材料有更多的塌陷，可以有更大的公差。

一个替代性的方法是将扫描光束指向到焊接线周围的反射镜上。通过使用环绕着圆柱形工件的锥形反射镜，可以同时焊接管头或者是小的圆形零件。

8.5.4 夹紧

在传输激光焊接中可以运用多种夹紧系统，主要的两种系统如图 8.15 所示。

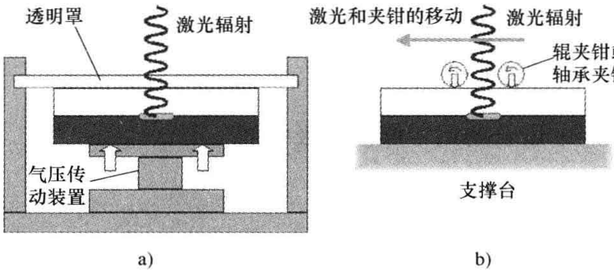


图 8.15 传输激光焊接的夹紧系统（来源：英国焊接研究所有限公司）。
a）固定夹钳 b）移动夹钳

固定的夹持设备包括使用机械紧固而不是用执行器来施加载荷的装置。在最简单的夹持形式中，如果工件的设计允许用一个销子穿过工件来施加载荷。透明罩必须有足够的刚性来提供夹紧力，可以选择厚的丙烯酸或者是普通的平板玻璃。硼硅玻璃在焊接中更耐热冲击，但是更昂贵。在高温聚合物的焊接中，可以使用石英玻璃。如果在载荷下透明罩破了，要确保采取合适的安全预防措施去避免损伤的风险。

移动的夹持设备可以使用轴承、辊或者是一个简单的滑动底槽去施加一个夹紧力。由于这个力只施加在焊接接头被照射的地方，当使用移动夹持设备时夹紧载荷会更低，因此工件扭曲的风险更小一些，设备也可以更小巧一些。对大的零件它更有优势，对大的区域施加合适的夹紧力需要大的载荷。

在两辊（见图 8.3a）间夹持点上的焊接一般用来将两层柔性材料焊接到一起或者将一层柔性薄膜焊接到刚性基层。激光束直接照射到辊之间的钳口并固定方向，来加热焊接接头的两个内表面然后按压在一起。通过使用这个技术可以达到很高的速度（超过 500m/min，即 1640ft/min）。

移动夹紧钳在加热的点上施加力的另外一种方式是通过一个球形的透射钳传递激光束。球在空气轴承槽内滚动，气流也有利于保持它的干净和维持一致的能量传输。已经成功地使用这种夹钳来对复杂形状的零件进行三维焊接。

8.5.5 吸收介质应用装置

通常，炭黑分散在聚合物里面，诸如 Clearweld 的液体吸收介质涂层可以通过多种方式来使用。实际上，可以使用任何可用于将一层低粘度液体涂到基底的方法。对应用这些溶剂

型材料的重要要求如下：

- 一致性——整个焊接区域包含均匀浓度的吸收介质。
- 重复性——每一部分都有相同数量的吸收介质。
- 污染小——对材料体系几乎没有添加剂或污染。

应用的方式取决于要涂层零件的设计和最终用户的需求。一般来说，应用的方式只把液体涂到需要有焊缝的区域。材料的准确应用避免了防护罩的使用，防护罩在传统的传输激光焊接中是必需的。其他因素（如操作速度）会影响应用方式的选择。主要的应用方式如下：

- 通过针的液体配料。
- 喷涂。
- 刷。
- 浸渍。
- 吸水。
- 与待连接零件兼容的聚合物的干燥薄膜吸收剂。

8.5.6 监测

如果激光焊接的位置和所提供的能量是可控的，在精确度上就有了独特的优势。为了利用这个潜能，需要一个快速而精确的监测方式。

为确保焊接各个过程的发生以及评定焊接的质量，需要监测的内容如下：

- 确保在焊接之前对工件正确地使用红外吸收介质。
- 提示在焊接过程中工件保持接触。
- 提示在进行焊接加热和温度控制。
- 提示在完成焊接之后工件保持接触。
- 提示在完成焊接之后获得了焊缝。
- 提示焊接质量和强度满足需求。

监测方式可以给以上大多数提供不同程度可信度的信息；然而，必须注意的是，只有在破坏测试中才可以得到全部的质量和焊接强度保证。

对其他聚合物焊接方式的监测一般通过监测过程参数（如所使用的能量、位移等）来实现。这些也可以通过激光焊接实现，这个加工过程也很适合使用诸如红外成像等光学方式。光学监测方式特征总结见表 8.3 [21]。

表 8.3 光学监测方式特征总结

监测方式	适用场合	优点	局限性	实用性
可视光图像	在焊接过程中和焊接后观察焊缝。使用吸收剂树脂和红外线涂层方法以及炭黑吸收剂	易于设定和使用。指示两个接合面融合的焊接区域	只适用于透明的和半透明的上部材料	现成的组件
红外成像	焊接过程中的温度测量和加热控制。用于红外线和炭黑树脂基系统。在使用红外线吸收剂涂层时需要注意	在实时控制激光功率时提供快速温度读数	很难用于低发射率的材料和上部材料传输性很差的场合	成本相当低

（续）

监测方式	适用场合	优 点	局限性	实用性
红外线图像	在焊接前和焊接后校正吸收剂涂层的位置，显示出加热的部位。同时给出焊接后加热区域的图像	经过验证的技术适用于检验焊接前焊件上的涂层以及之后的焊缝范围	焊接时激光波长的干扰。焊接后不适用于吸收剂填充树脂的焊缝检验	焊接时可以进一步的结合使用技术
光谱测定法	在焊接前后和焊接时测量涂层吸收。验证表面连接的紧密性	在焊接前检验位置和涂层的浓度以及焊接后这些的剩余量	焊接时不易使用此方法。不适用于焊接后吸收剂填料树脂的焊接检验	焊接时可以进一步的结合使用技术

8.6 焊接接头设计

适合于传输激光焊接的焊接接头设计如图 8.16 所示。一般来说，必须确保到达焊接接口表面的能量足够熔化接口材料，而外表面的接口材料不会过热，尽可能地让热量均匀地分布在接口。需要额外确保与光束方向呈一定角度的或者是沿焊接接头线有不同厚度的复杂形状工件的接口能量的均匀分布。工件必须匹配。按照经验，一般使用的表面粗糙度小于 50μm（0.002in）。焊接接头一般设计成自对准，可以在焊接的地方使用扣合式，或者是尺寸上允许自夹紧，比如可以把管材布置成过盈配合来获得自夹紧[22]。

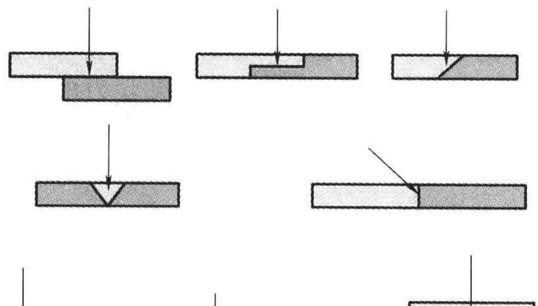


图 8.16　焊接接头设计中可能的形式（来源：英国焊接研究所有限公司）。

8.7 焊接参数

8.7.1 主要的参数和作用

和所有塑料焊接工艺一样，激光焊接的三个重要的工艺参数是温度、时间和压力。在激光焊接中，它们由激光器功率、激光光斑的尺寸、照射时间（固定或者是移动的系统）、激光吸收介质材料的存在和夹紧载荷来控制。

在焊接中使用的能量密度包括温度和时间等工艺参数。这个由激光器功率、在焊接接头处的光斑尺寸、照射时间（固定设备）或者是焊接速度（工件相对于激光器移动的过程）

来决定：

$$能量密度 = \frac{能量 \times 时间}{光斑尺寸}$$

或者

$$能量密度 = \frac{能量}{光斑宽度 \times 速度}$$

如果能量密度太低，就没有产生足够的热，在焊接接头处的材料没有用高温加热足够长的时间，就不能产生强度好的焊缝。另一方面，如果能量密度太高，则过多的热量会降解焊接接头处的聚合物，从而产生孔隙，甚至烧焦聚合物。上面的任何一种情况都会导致比最佳情况强度低的焊缝。在实际操作中，可以找到一个相对宽的加工范围，从而产生令人满意的焊缝。典型的激光焊接使用的能量密度在 0.1 ~ 2J/mm^2，它的变化取决于获得令人满意的接头所要求的熔化物的深度。虽然可以用能量密度来表征焊接过程，但要小心对待此参数。在焊接过程中远离工件的热传导意味着使用同样的能量密度一定会产生同样质量的焊缝。例如，使用一个恒定的光斑尺寸，两倍的功率可以使得焊接速度高于两倍，而保持相同的焊缝性能。

影响焊缝中能量大小的另一个因素是密度和在焊接接口处的吸收介质的吸收效果。吸收介质的密度更高可以使得焊接进行得更快或是需要的激光器功率更低。

所施加的压力通过使用夹紧系统来控制。如果在焊接过程中工件不是夹紧在一起的，或者焊接接头处的压力不够大，那么接合面就不会紧密接触。这会导致上部工件的热传导很差以及聚合物链穿过焊接接口的相互扩散有限。两种效果都会使焊缝强度低于最佳强度。需要给予关注来确保加紧载荷在接头处提供压力。使用夹紧力的典型范围是 0.1 ~ 1N/mm^2 (14 ~ 145psi)。如果工件在夹紧力作用下弯曲导致接头扭曲，焊接质量会很差。由于这个原因，在夹紧系统中具备一些柔性物质（如弹性体元件）是很有用的。

8.7.2 建模

当表面扩散是工艺的主要方式，同时熔体流动又最小时，聚合物焊接的热模拟使用起来最容易。传输激光焊接就是这么一个过程。模型基于经典的热流动方程，这个方程用于特定的焊接接头的设计，或者是使用有限元方法，见图 8.17[23-25]。

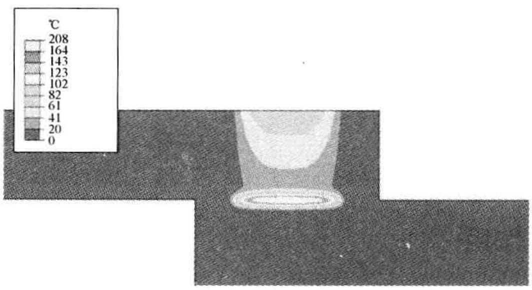


图 8.17 采用有限元分析的激光焊接样本的典型的温度分布（来源：英国焊接研究所有限公司）。

8.8 故障排除

表 8.4 中给出的故障排除指南总结了在塑料的激光焊接中可能会遇见的常见问题。

表8.4　用于激光焊接的故障排除指南

问　题	原　因	解决方法
表面灼烧	表面污染，表面粗糙度高或聚合物中有杂质	清理焊缝表面及激光束进入聚合物所经过的表面。去除有害的添加剂
	激光诱导分解——材料由高传输变为高吸收的能量密度接近阈值的结果	减少激光能量 避免焊缝处或光束进入表面有空气进入： • 应用膜胶带等将塑料（如，丙烯酸）传输到表面上 • 将惰性气体吹过表面或焊接接口
表面熔化	表面污染	清洁表面
	激光在表面吸收或散射更可能发生于半结晶材料。在有足够能量密度的表面，激光光束散射或是被吸收引起熔化	减少激光能量
焊缝中析出气体	过热	减少激光能量 减少所用的吸收剂数量或使用低浓度吸收剂
	夹紧力不足	提高夹紧力 确保均匀的压力（如果气泡明显经常出现在同一个部位）
	滞留水分	确保聚合物在焊接前是干燥的
不均匀的焊缝	不均匀的夹紧力	确保均匀的夹紧力
	不均匀的吸收层	检查材料系统的应用
	压力不足	增加压力 增强激光能量
焊接强度差	激光能量不足	增强激光能量 降低焊接速度 增加吸收剂浓度 增加压力
	能量吸收水平低	增加使用的吸收剂量 增强激光能量 降低焊接速度
	穿过顶层基材的激光传输低	更换聚合物 增加使用的吸收剂量
	能量吸收过量	减少使用的吸收剂量
	压力过高-焊接处的织物变薄	降低压力 减少激光能量 增加焊接速递
	激光能量太高	较少激光能量 增加焊接速度 降低压力 减少使用的吸收剂量
	聚合物间不相容（不相似材料）	使用不同的材料
	熔融温度相差太大	使用不同的材料
	聚合物/溶剂相容-所使用的吸收剂流体系统的溶剂破坏了聚合物的表面	使用不同溶剂的吸收剂
残留色差	使用炭黑作为吸收剂	使用浅色的红外线吸收剂
	与使用的激光能量相比吸收剂超量	减少吸收剂用量和增加激光能量

参考文献

[1] Jones IA, Taylor NS: High speed welding of plastics using lasers. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

[2] Kurusaki Y, Matayoshi T, Sato K: Overlap welding of thermoplastic parts without causing surface damage by using a CO_2 laser. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

[3] Herfurth H, Ehlers B, Heinemann S, Haensch D: New approaches in plastic welding with diode lasers. Laser Materials Processing. ICALEO' 99, Conference proceedings, San Diego, November 1999.

[4] Jones IA, Taylor NS, Sallavanti R, Griffiths J: Use of infrared dyes for transmission laser welding of plastics. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

[5] Pinho GP: Laser welding of thermoplastics. International Body Engineering Conference, Proceedings, Society of Automotive Engineers, Detroit, September 1999.

[6] Nylon 12 takes the pressure in gas pipe. *British Plastics and Rubber*, p. 7, May 2005.

[7] Warwick CM, Gordon M: Application studies using through-transmission laser welding of polymers. Joining Plastics 2006, Conference proceedings, London, UK, April 2006.

[8] Klein R, McGrath G: Creating transparent laser weldings on thermoplastic components. Joining Plastics 2006, Conference proceedings, London, UK, April 2006.

[9] Grewell D, Jerew T, Benatar A: Diode laser microwelding of polycarbonate and polystyrene. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

[10] Klein H, Haberstroh E: Laser beam welding of plastic micro parts. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

[11] Klotzbuecher T, Braune T, Ritzi M, Drese K-S, Teubner U: Microclear—a novel method for diode laser welding of transparent microstructured polymer chips. ICALEO 2004, Proceedings of 23rd International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics, Laser Institute of America, San Francisco, October 2004.

[12] Griebel A, Rund S, Schönfeld F, Dömer W, Konrad R, Hardt S: Integrated polymer chip for two-dimensional capillary gel electrophoresis. *Lab Chip*, 4, p. 18, 2004.

[13] Chen J-W, Zybko J: Laser assembly technology for planar microfluidic devices. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

[14] Grewell D, Benatar A: Experiments in microwelding of polycarbonate with laser diodes. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

[15] Curtis J, Robinson P, Comley J: The use and advantages of laser sealing in high density assay plates. 10th Annual Conference, Society of Biomolecular Sciences, Orlando, September 2004.

[16] Ussing T, Petersen LV, Nielsen CB, Helbo B, Hjslet L: Micro laser welding of polymer microstructures using low power laser diodes. 4M 2005, Conference on Multi-Material Micro Manufacture, Karlsruhe, Germany, June/July 2005.

[17] Pfleging W, Baldus O, Bruns M, Baldini A, Bemporad E: Laser assisted welding of transparent polymers for micro-chemical engineering and life sciences. *Proceedings of SPIE*, 5713, p. 479, 2005.

[18] Lu C, Lee J, Grewell D, Benatar A: Sacrifi cial material assisted laser welding of polymeric microfluidic devices. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

[19] Jones IA: Improving productivity and quality with laser seaming of fabrics. *Technical Textiles International*, p. 35, May 2005.

[20] Caldwell S, Rooney P: Design flexibility in waveguides and lightpipes for TTIr plastics welding. ANTEC

2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

[21] Jones IA, Rudlin J: Process monitoring methods in laser welding of plastics. Joining Plastics 2006, Conference proceedings, London, UK, April 2006.

[22] Kirkland TR: Practical joint designs for laser welding of thermoplastics. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

[23] Kennish YC, Shercliffe HR, McGrath GC: Heat flow model for laser welding of polymers. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

[24] Grewell D, Benatar A: Modelling heat flow for a moving heat source to describe scan micro-laser welding. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

[25] Abed S, Knapp W, Ghorbel E, Agrebi K, Laurens P: Thermal modelling of the laser welding of polypropylene. Lasers in Manufacturing 2003, Proceedings of 2nd International WLT Conference, Munich, Germany, June 2003.

第9章　红 外 焊 接

9.1　工艺描述

红外辐射（IR）可以作为一种非接触的热源用于聚合物焊接。红外辐射通常可以通过加热的金属板来提供，其辐射的波长在 1 ~ 15μm 范围（见图 9.1），或者由红外线灯来提供，其辐射的波长主要在 1 ~ 3μm 范围。红外辐射照射在聚合物表面时，可以产生加热和熔融。在熔融之后移走红外源，工件可以压紧焊接在一起并且进行冷却。

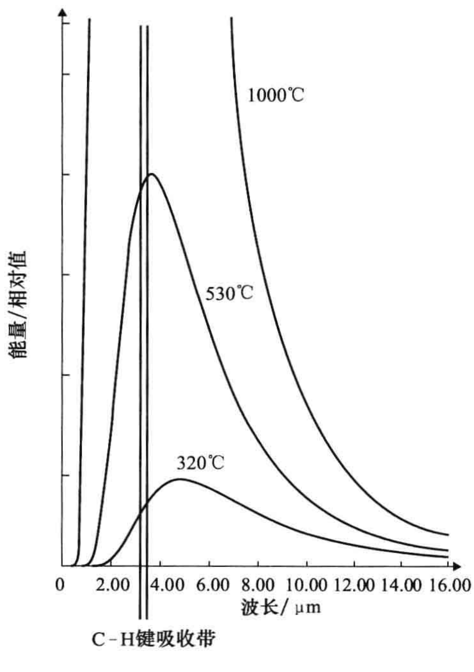


图 9.1　与波长相关的理想黑体辐射的吸收。波长为 3.3 ~ 3.5μm 时 C-H 键对红外辐射进行吸收（来源：英国焊接研究所有限公司）。

9.1.1　聚合物与 IR 的相互作用

当辐射照射在聚合物表面时，它可以被反射、传输或者是吸收。吸收的部分导致了温度的增加而引起聚合物的熔化。纯的未填充的热塑性材料所吸收的辐射量是由原子振动决定的，对红外的振动与由红外辐射的振荡电场所激活的偶极矩的变化有关。一些振动模式的频率在红外光谱范围内，因此可以吸收特殊波长的红外辐射。振动模式有多种，最常见的两种是拉伸和弯曲。3.3 ~ 3.5μm 波长与 C-H 键的振动模式相对应。酒精、羧酸、酰胺基团吸收波长为 2 ~ 3μm 的红外线。一些聚合物吸收的光谱如图 9.2 ~ 图 9.4 所示。

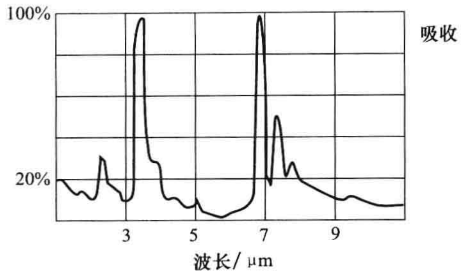


图9.2　0.1mm（0.0039in）厚聚乙烯的IR吸收（来源：贺利氏特种光源）。

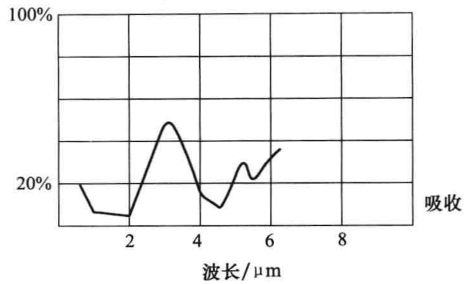


图9.3　0.02mm（0.0008in）厚PVC的IR吸收（来源：贺利氏特种光源）。

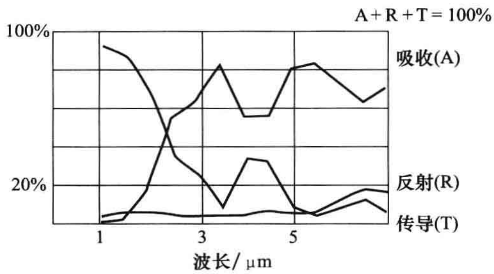


图9.4　5mm（0.197in）厚透明有机玻璃的IR吸收（来源：贺利氏特种光源）。

从以上提到的数据可以看出，不同的聚合物在不同的红外波长下达到最大吸收量。因此，红外源的选择（特殊的波长分布）对高效熔融并且获得令人满意的焊缝是很重要的。

9.1.2　焊接工艺分类

红外焊接有两种基本类型：表面加热或者是非接触热板焊接、通过传输红外（TTIR）焊接。

9.1.2.1　表面加热

可以通过使用电加热金属盘或是红外灯来进行表面加热。有时在金属盘表面涂一层陶瓷，加热到310~510℃（590~950℉）之间，这取决于要焊接的热塑性材料和焊接机的尺寸。在红外灯焊接中，标准的加热盘被两块夹在可移动盘两侧的、并用弹簧施加夹紧载荷的短波红外发射器所取代（见图9.5）。与常规的加热盘焊接相比，这种方法所需要的功率很大，同时焊接时间更短。由于短波红外辐射（0.78~1.4μm）可以更深地穿透聚合物，这使得对表面的热损失减少到最小。这个技术也可以用于处理大表面的产品，因为给加热板添加更多的发射器是一个简单操作。

在两种情况中，焊接过程与热工具焊接或者是热板焊接是相似的，包括了三个阶段，如图9.6所示。在第一阶段中，待焊件的接头表面与加热表面保持一个特定的距离，然后加热到聚合物的熔融温度。当获得一个需要厚度的熔融层时，移走辐射源，工件在压力作用下合在一起。第二个阶段是转换阶段，从加热源的移除到工件的接触。这个阶段应该尽可能短，这样可以缩短表面冷却时间。在第三个阶段，保持压力直到焊接接头冷却和固化，这样做的目的是使工件之间获得紧密的接触。这个阶段中分子在焊接接口的扩散决定了焊接强度。在

一些设备中，会通过强制冷却来缩短冷却时间[1]。

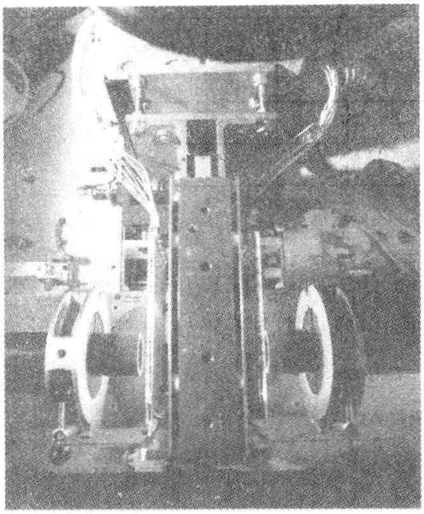


图 9.5 塑料管材的 IR 灯焊接（来源：贺利氏特种光源）。

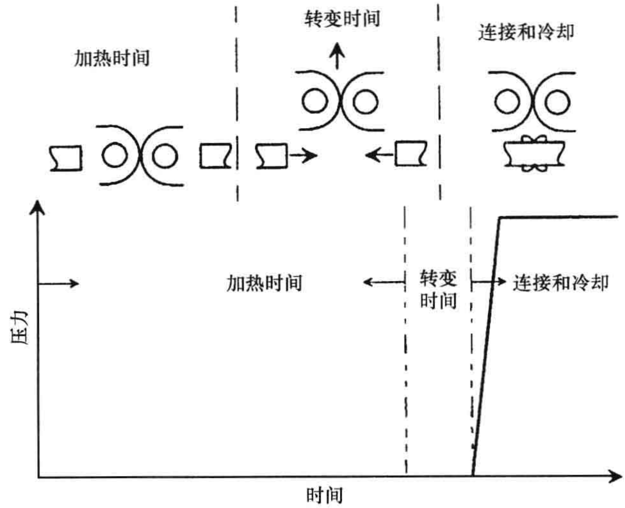


图 9.6 红外焊接过程压力-时间曲线示意图，展示了红外焊接的三个阶段（来源：参考文献［7］）。

在实际的操作中，这三个阶段被划分为六步，具体如下：

1）安装工件：工件通常放置在夹具上；一些夹具有一个减压装置用来固定工件。

2）压力驱动：操作者通过关闭两个手掌按钮来进行操作。红外源在两个待焊工件中移动。

3）红外应用：一旦红外源和工件被安全地放置，就可对工件施加红外辐射。这使得接合面表面受热并且熔化。

4）转换：在红外能量施加到工件之后，红外源被移走，使工件紧密接触。

5）夹持：保持在预置压力下使工件更加紧密接触，因而会产生分子扩散同时会从焊接区域挤出污物。通常会采用机械限位器来限制工件的运动和熔融物的过度移动。如果不使用机械限位器，所有的熔融物就会被挤出焊接区域，这样会导致焊接质量差，通常被称作“冷连接”。

6）卸载：一旦熔融物充分固化，就移除工件。

表 9.1 展示了上面提到的每一步所涉及的典型周期时间。

表 9.1 典型的表面红外加热焊接周期

步　骤	典型时间/s	步　骤	典型时间/s
安装工件	3 ~ 15	转换	1 ~ 2
压力驱动	1 ~ 2	夹持阶段	1 ~ 3
红外应用	1 ~ 5	卸载	5 ~ 10

在一些情况中，特别是当待焊件比较大而且有复杂的几何形状时，在工件缝隙间通入加热的气体，这样可以使工件接合面受到更均匀的加热[2]。

9.1.2.2 通过传输红外焊接

这种方式利用的红外能量可以透过其中一个待焊工件，并被位于接口处的第二个待焊工件吸收，在接口处产生的热可以熔化透明的聚合物，如图9.7所示。

TTIR焊接可以把透明的塑料焊接到不透明的塑料上，或者通过要连接的两层之间的夹层吸收薄膜来实现焊接。一般来说，只有当较小的力施加到要连接的两层上，使它们保持接触，有热传递，并且使空气在上层流动时，才可以冷却并且施加焊接力。可以使用过滤介质从红外源中滤掉不需要的波长[3]。

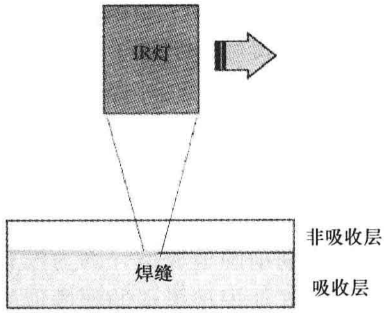


图9.7 TTIR焊接示意图（来源：英国焊接研究所有限公司）。

几乎所有的聚合物对光谱中接近红外的部分都是“透明的”，即使聚合物看起来是不透明的，也可以使用这种方法来焊接。

相对于表面加热方式，TTIR焊接的优点包括以下方面：

1）它是个预装配的方式，许多实际焊接过程中，在没有复杂的夹具的情况下，让部件放置于合适的位置是很关键的。

2）速度和灵活性，循环时间是3~5s。

3）只要材料的光学特性允许接合面有光照，即使是具有复杂曲率且没有支撑的内壁也可以被焊接。对循环周期比较快的焊接过程（如振动焊接），这种类型的应用是比较困难的。

4）最重要的优点之一是焊接质量，工件有优良的美学性能。

5）没有大的加热盘，只在焊接区域受到加热。

然而，在TTIR焊接中，其中一个工件必须是透明的。同时，结晶型聚合物（如PP和PE）趋向于提高辐射的内部散射，这把透明部件的厚度限制在3~5mm（0.12~0.2in）。另一个工件也需要具有吸收性。通常对接口添加炭黑和其他的红外吸收染料来取得这个效果。

焊接过程包括以下五个步骤：

1）安装工件：这包括把工件人工放置在夹具上；通常只用一个夹具（下部夹具）来夹持两个工件。

2）压力驱动：通过操作者来启动，通过按下两个手掌按钮来实现。

3）红外应用：一旦工件和红外源摆放正确，可以在工件上施加红外辐射。这促进了接合面的熔融和焊接。

4）夹紧阶段：在预设压力的作用下，工件被夹持在一起，以确保熔融表面之间的紧密接触。

5）卸载：一旦熔融材料被充分固化，移除工件。

典型的TTIR焊接的循环时间见表9.2。

表9.2 典型的TTIR焊接循环

步骤	典型时间/s	步骤	典型时间/s
安装工件	3~10	夹紧阶段	1~3
压力驱动	1~2	工件卸载	5~10
红外应用	1~10		

9.2 优缺点

红外焊接是用于连接塑料的快速而经济的方法。红外辐射可以加热聚合物并且很快建立一个熔融区，相对于加热工具焊接，工件的焊接速度可以提高至少30%。同时，因为加热时没有物理接触，消除了热工具焊接中物料粘接到加热板上或者加热板涂层磨损的问题，接口处的污染最小。红外焊接也可以焊接低模量的材料（如热塑性弹性体），因为在加热中焊接件几乎没有剪切。同时，与热工具焊接相比，由于移除材料有限，焊珠更小了，增加了管材内的流动，减少了在焊珠处微污染的风险[1,4-9]。

然而，红外焊接不适合于透明材料，除非在接口处使用红外线吸收材料。除此之外，工件需要特别精确地成型，因为没有接触式的熔融限位器来弄平接头表面。除了红外焊接的波长之外，红外焊接渗透的深度取决于许多因素，包括聚合物的吸收特性，聚合物配方很小的改动会带来特性上的巨大变化。因此，持续的红外焊接需要注意聚合物批次之间的均匀性。

9.3 应用

从20世纪90年代开始，表面加热红外焊接已经用于塑料管材的连接。最近，观察到TTIR焊接已经应用于这个领域。其他的应用包括硬质PVC（UPVC）窗框的焊接、以弹性材料为密封的生物医学产品的焊接以及层压板的生产。除此之外，红外焊接用于生产热塑性复合材料的零件，这个过程可以在很大的区域获得高的能量密度[1,4,10,11]。

9.4 材料

焊接参数和焊接强度的最佳值取决于焊接材料的性能，特别是聚合物吸收红外辐射的方式。添加在聚合物中的着色剂和色素改变吸收性能，最佳参数值也发生了变化。添加在塑料中的黑色着色剂显著地减少了材料中的辐射量，因此几乎所有没有反射的辐射都在表面被吸收了。在短的加热时间内获得高的表面温度，在短时间内造成大的聚合物降解，所以焊接强度比非着色的低。黑色的塑料能够承受较大热应力和较小的热梯度。非着色聚合物更透明，因此在表面和表面下面吸收辐射加热并且熔融焊接区域；对于厚的熔融层形式来说，即使在更长的加热时间下，聚合物的降解也可以最小化[4,8,12]。

红外焊接尤其适用于高熔点聚合物，因为该技术是非接触工艺，可以避免热板焊接中的熔体串和/或焊接件污染。

可以使用不同红外焊接技术进行连接的一些材料列于表9.3。

表9.3 能够进行通过传输红外焊接和表面加热红外焊接的典型材料的相容性

材　料	通过传输红外焊接	表面加热红外焊接
PC	良好	良好
丙烯酸树脂	良好	良好
PS	良好	良好
ABS	仅适用于透明等级	良好
PVC	仅适用于透明等级	良好
PE	厚度 $<5mm$	良好

（续）

材　　料	通过传输红外焊接	表面加热红外焊接
PP	厚度<5mm	良好
PK	厚度<5mm	一般
弹性体	厚度<5mm	一般
PA	厚度<5mm	一般
聚甲醛	厚度<5mm	一般
PTFE	厚度<5mm	差

9.5 设备

在红外焊接中，辐射加热器和加热灯材料包括石英卤素、钨、镍铬（Ni-Cr）等，或者是陶瓷涂层加热元件。陶瓷涂层加热元件用于低温，可以在1.5~2.0mm（0.06~0.08in）的加热距离在接头表面温度达到320~530℃（608~986℉）。石英卤素辐射器用于较高的温度，通常是1000~3000℃（1831~543℉），波长为0.9~1.0μm时产生最大的辐射。钨灯丝产生强烈的辐射；然而，只适用于线形和斑点形的情况下，对颜料和待焊接材料的配方比较敏感。镍铬加热器在不同的形状下都可以使用，比如管状，可以在几分钟内达到850℃（1562℉），辐射波长为2~5μm。可以使用反射背板来集中红外辐射以加热长而窄的区域，或者使用反射背板来分散辐射以均匀加热大的区域。

刚性夹紧设备在恰当的位置夹持工件和加热器，这就避免了焊接过程中的扭曲和偏差，在焊接过程中如果需要可以使用气动执行器来移动加热器和工件。微处理器控制设备可以对工艺参数进行控制，获得质量控制数据。其他特性包括熔融和压力深度的控制、非接触传感器、动力操作加载门、精密轴承及滑动、自动喂料和工件的顶出。热工具焊接设备通常用于红外焊接。塑料管的红外焊接设备如图9.8所示，用于红外焊接模压零件的设备如图9.9所示。

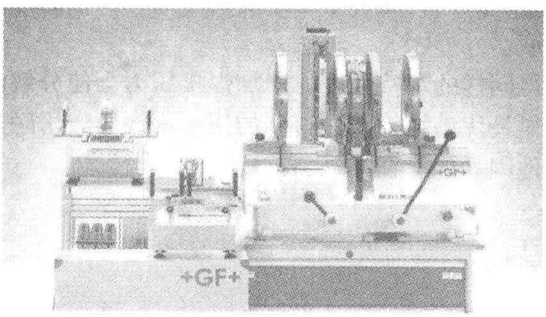


图9.8　用于塑料管的红外焊接设备（来源：乔治费歇尔管路系统）。

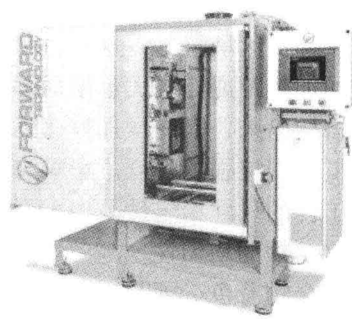


图9.9　用于模压零件的红外焊接设备（来源：前进技术）。

9.6 焊接接头的设计

在使用红外焊接时可以使用各种类型的焊接接头设计（见图9.10）。材料的典型位移是

0.76mm（0.030in），因为在红外熔融过程中没有位移，在焊接/密封阶段从材料的融合开始，每一侧材料的位移只有0.38mm（0.015in）。此位移量的改变取决于材料和几何形状。

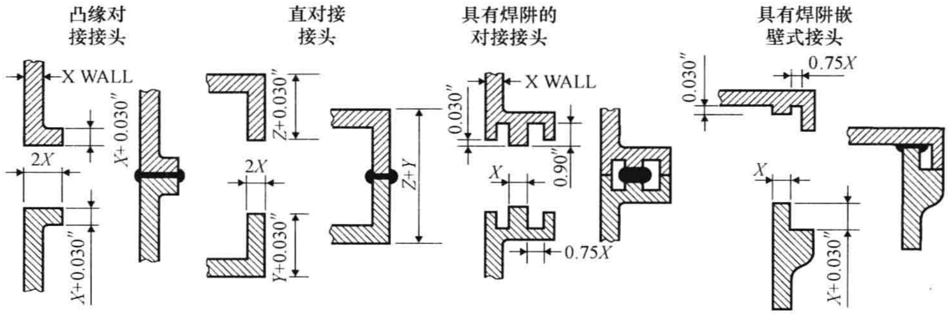


图9.10　用于红外焊接的一些焊接接头设计（来源：前进技术）。

9.7　焊接参数

红外表面加热焊接的主要工艺参数如下：

- 加热时间。
- 待焊件和辐射热源之间的距离（加热距离）。
- 转换阶段所需要的时间。
- 在移除加热源之后的焊接压力。

加热温度取决于材料的熔融温度和焊接部件的几何形状（工件尺寸、加热距离）。在没有反射镜的扩散散热器中，随着加热距离的增加辐射强度降低。降低的辐射强度导致缓慢的温度增加和焊接区域更小的温度梯度以及变小的热应力。然而，需要更长的加热时间来取得特定的熔融厚度。熔融层的厚度和性质是焊接接头强度的重要决定因素。熔化物厚度取决于到达焊接接口的辐射量，受加热时间、加热温度、加热源、焊接件几何形状，以及待焊接聚合物的性能的影响。

表面温度的快速增加能够引起聚合物的分解。然而，随着熔融厚度的增加，积累的降解物可以从接头区域挤出，这样可以增加焊缝强度。

增加加热距离需要大量增加焊接时间以获得同样的焊接强度。增加焊接压力会使分解的材料被挤压出来，因而增加焊接强度，直到获得最优的结果。进一步的压力增加导致熔融层厚度降低，焊接强度降低。影响焊接质量的其他因素如下：

- 工件的尺寸稳定性。
- 聚合物的均匀性。
- 聚合物着色/透明性。
- 脱模剂。
- 不同的材料。
- 填料。
- 水分的存在。
- 熔融和焊接阶段的转换时间。

参考文献

[1] Troughton M, Wermelinger J: Assessment of a new, completely controlled, IR welding system using statistically designed experiments. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

[2] Poopat B, Benatar A: Gas-assisted non-contact hot plate welding of HDPE. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

[3] Grimm RA: Through transmission infrared welding (TTIr)—filter media. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

[4] Taylor NS, Klaiber F, Wermelinger J: Assessment of PP and PVDF joints made by a new infrared jointing system. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, 1993.

[5] Yeh HJ: Infrared welding of polyethylene pipes using radiant heater. ANTEC 1996, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Indianapolis, 1996.

[6] Chen YS, Benatar A: Infrared welding of polybutylene terephthalate. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, 1995.

[7] Chen YS, Benatar A: Infrared welding of polypropylene. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, 1995.

[8] Potente H, Michel P, Heil M: Infrared radiation welding: a method for welding high temperature resistant thermoplastics. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, 1991.

[9] Yeh HJ, Benatar A: Methods for sealing of aseptic food packages. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, 1991.

[10] Savitski A: Simultaneous butt and lap joints for PVDF pipes. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

[11] No D, Benatar A: Development of combined socket and butt through transmission infrared welding of polyethylene pipes. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

[12] Bonten C, Tüchert C: Welding of plastics. Introduction into heating by radiation. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

第 10 章　电阻植入焊接

10.1　工艺描述

电阻植入焊接，最初是用于高性能连续碳纤维增强热塑性塑料的开发，现在用于导电加热元件，即作为植入物，放置于待焊件的接头界面处。电阻（欧姆）加热使植入物的温度升高，进而使得植入物周边的塑料熔融并且一起流动，最终形成焊缝。

电阻植入焊接工艺可以分成三步（见图 10.1）。

10.1.1　装配

加热元件（植入物）是焊缝堆积的最内部部分，其形式包括碳纤维预成型钉、石墨纤维编织物、不锈钢箔或丝、用铜或者镍合金制造的编织物或者筛网。不锈钢加热元件仅用于热塑性材料。在热固性材料或者金属的焊接中，植入物被注入热塑性材料，或者是被两个热塑性材料层夹在中间。碳纤维预成型钉是增强塑料，通常包括在热塑性树脂基下的单向碳纤维。不锈钢加热元件在接头中引入了其他材料，这样是为了使电蚀的可能性最小化，同时减少对焊接接头强度有重要影响的纤维运动。植入物的选择取决于成本、几何形状、柔性以及每单位长度的电阻。植入物的设计是相当重要的，特别是电线的布置，以确保熔融聚合物在焊接时可以在它们之间流动[1-8]。

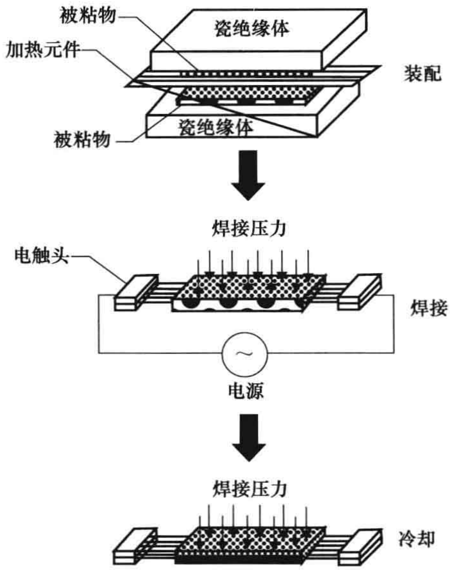


图 10.1　电阻植入焊接工艺。

加热元件被夹在称为被粘物的待焊工件之间。对于热固性材料、复合材料以及金属材料来说，被粘物和加热元件被一层由部分或者全部热塑性材料组成的夹层所隔开。使用的热塑性塑料包括热塑性材料纯料或者是如热塑性树脂基中含碳纤维的复合材料。在被粘物的熔融点之下，夹层热塑性材料熔融或软化，因此被粘物的降解被最小化，焊接接头的力学性能得以保持。焊缝堆积最外端的绝缘体完成了组装。

10.1.2　焊接

为了开始一个焊接周期，在焊缝堆积上施加力，电流穿过植入物。植入物的电阻加热引起了温度的上升，相邻的热塑性材料熔融（半结晶热塑性塑料）或是软化（非结晶性塑料），在力的作用下进行流动。任何表面的不规则都被抹平，熔化的塑料被从焊接接口挤出，移除了任何层间的空隙。

10.1.3 冷却

在设定时间之后，关闭电源，使得在压力下焊缝的冷却和固化可以进行。

10.2 优缺点

电阻植入焊接控制起来很简单，循环周期比较短（从 30s 到几分钟）。该技术不像振动焊接或者热板焊接那样限于平坦的表面。因为植入焊接在焊接之后加热元件依旧在焊接接头中，维修质量差的接头是可能的。接头可以被拆除，有助于单个工件的回收利用。

电阻植入焊接可以用于不相同材料的焊接，比如热固性塑料与金属的焊接，否则就要使用热固性粘合剂或者机械紧固件的传统技术来连接。由于热塑性材料的融合粘接，焊缝表现出很高的力学性能，对水分和溶剂产生一个屏障，从而获得良好的耐久性。

本技术的缺点是电阻可能发生漏电，这会导致加热不均匀和产生焊缝力学性能变化的可能。除此之外，由于植入物留在接头中，这相当于一个空隙，会影响局部的应力分布[3-9]。

10.3 应用

电阻植入焊接在航天航空部门的使用越来越多，主要用于基于聚醚酮（PEEK）、聚苯硫醚（PPS）和聚醚酰亚胺（PEI）上的轻质热塑性复合材料的连接。应用包括第二或第三承重元件（如筋和侧板），海洋部门制造小船船体及汽车部门制造两部分的汽车保险杠都使用该技术。

然而，最多的应用领域是用于诸如 PE 的热塑性塑料管电融合技术中（参看 10.7 节）。

10.4 材料

几乎所有的热塑性材料都可以通过电阻植入物焊接技术来连接，这个技术也可以用于焊接不同的材料，包括热塑性材料、热塑性复合材料、热固性材料和金属等使用热塑性夹层的许多组合。在使用这种焊接方式时，热塑性材料和热固性材料的焊接接头强度比使用粘合剂时要高[6]。

在焊接某些塑料时，对加热和冷却速率的精确控制很重要，特别是对于半结晶性热塑性材料来说。需要采用最优的工艺参数，以获得可重复的连接均匀性和高的焊接接头强度[7,8]。

10.5 设备

除了电阻本身，用于电阻植入焊接的设备包括电源和压力系统。电源可以是恒电流的也可以是恒电压的。恒电流的电源较好，因为它提供给电阻的功率变化最小。任何连接、导线或植入物电阻的变化通过自动调节电压来得到所需要的电流。但是，这种方式比较昂贵，恒电压型电源在工业中得到更广泛的使用。

电阻植入物焊接设备可用自动或者手动；可以使用气动气缸在焊接中施加应力。

10.6 焊接参数

用于电阻植入焊接的参数有功率或者提供给加热元件的电流、压力、温度、驻留时间

（在最高温度或者电流下的保持时间）以及冷却时间。因为聚合物的熔融料流是相对分子质量和温度的一个函数，在正式生产之前，压力是通过试验来测定的。焊接周期包括三个阶段，一般是斜坡上升阶段、峰值电流阶段、斜坡下降阶段。焊接周期约为1min[5,7,8]。

电阻植入焊接工艺可以在恒定的功率或者是恒定的温度下进行。在恒定功率过程中，为整个焊接过程设定一个特别的电压和电流，焊接也发生在特定的时间。这个过程不是恒温的，峰值温度很难进行预测。在恒温电阻植入焊接中，使用热电偶去监测焊接过程，在需要的情况下调节电流和电压。恒温过程提供了更多的热均匀性，但是不常用[5]。

大型元件的电阻植入焊接需要大的载荷和功率水平。对于大尺寸零件来说，电阻焊接工艺的修改是将粘接线打断成段，然后按顺序进行加热。由于表面的异常和焊接过程中的非均匀压力分布，同步加热大的工件会导致在工件端部的过热。低功率水平和更硬的工具的工艺适应性修改会降低过热并产生较好的粘接质量[6]。

10.7 电融合焊接

10.7.1 工艺描述

电融合技术主要用于焊接PE管材，这些管材用于输送煤气、水和污水。在工业上也用来焊接由PP和PVDF制作的管材，现在也用来焊接尼龙煤气管[10]。

加工工艺涉及模塑成型插座配件的使用，它包括两个被中央冷却区域分开的电阻加热线圈（见图10.2）。

准备好的管材末端被插入插座，夹紧定位，同时用电流通过线圈达到一个预设的时间。对线圈和周围聚合物进行加热，会热传递到管内壁。配件末端的冷却区域包括融合区的熔融物，可以形成高的熔融压力，同时形成性质均匀的焊接接头（见图10.3）。

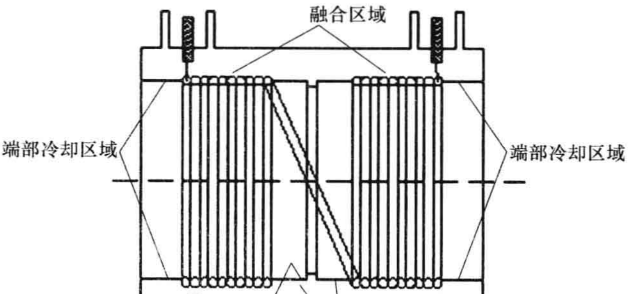


图10.2 电融合耦合器示意图
（来源：英国焊接研究所有限公司）。

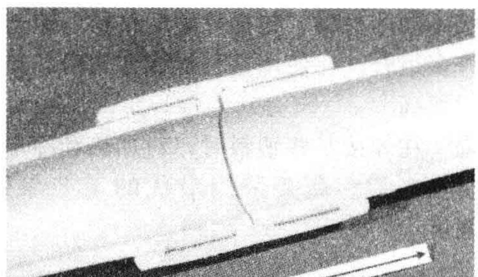


图10.3 电融合焊接接头截面剖开图
（来源：英国焊接研究所有限公司）。

在电融合焊接中焊接接头的形成包括四个阶段。在阶段Ⅰ，电流通过线圈；耦合器中周围的材料加热并膨胀，填充了管材和耦合器之间的缝隙。之后耦合器和管材的接触对管材的材料进行加热。在焊接接头形成阶段Ⅱ，来自耦合器的熔融物和来自管材的熔融物相结合，产生一个稳定的熔池。通过耦合器的冷却区，避免将熔融物挤出焊接接头，塑料比较低的热传导系数限制了向融合区的树脂熔化。这一阶段焊接强度比较低，是因为在焊接接口处有限

的分子扩散产生的脆性破坏。在焊接接头巩固阶段Ⅲ，高相对分子质量的分子开始向焊缝接口扩散，随着热量增加或者融合时间的增加，焊接强度也在增加，同时强度测试中的失效模式会从脆性变成韧性。然而过多的融合时间会产生聚合物降解。在焊接接头冷却阶段Ⅳ，焊缝开始冷却而管材仍被夹住以防止移动。随着冷却的继续，从毗邻冷却区的区域向着融合区方向，聚合物开始再结晶。

对于一个成功的焊接来说，管材的准备是必不可少的。要焊接的管材末端一定要被彻底地刮擦，以去除看不见的氧化物形成的表面层（由紫外线引起的），否则这会抑制分子的融合和混合。对小直径的管材，简单的手工刮擦就可以，而对大尺寸的零件，可以使用旋转机械刮擦机（见图10.4），这样更高效并且表面效果更均匀。

一般来说，一定要刮去0.2～0.4mm（0.008～0.016in）的一层。诸如尘土、沙砾、油脂和水分等的污染物也要从工作表面清除掉。一些PE管的制造商现在生产最外层膜可以剥离的管材，这些就不需要机械刮擦了。这一层可以容易快速地去掉，从而在插入耦合器插座之前呈现出一个干净的、未被紫外线破坏的表面层[11]。

管材的末端要切直，要插入到耦合器中，这样可以到达中心处的管材限位处。这种布置确保耦合器冷却区域的功能合适，同时也确保所有的加热线得到覆盖。要焊接的管材在焊接和冷却的各个阶段也要可靠夹持以防止被拔出[12]。

电熔合插座形式包括直通、弯头、三通和变径器，压力管管材尺寸范围为16～710mm（0.63～28in），非压力管尺寸可以达到1800mm（71in）。小直径管材和大直径管材之间可以使用凹座配件来连接，一般使用分支鞍和攻螺纹三通（见图10.5）[13]。

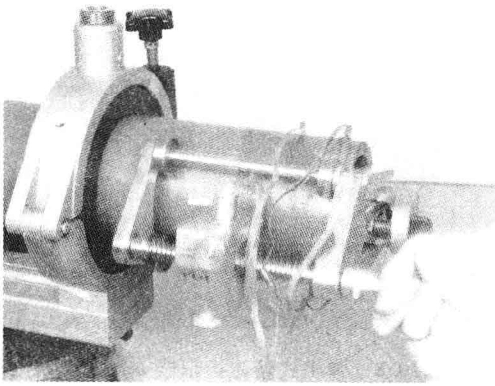
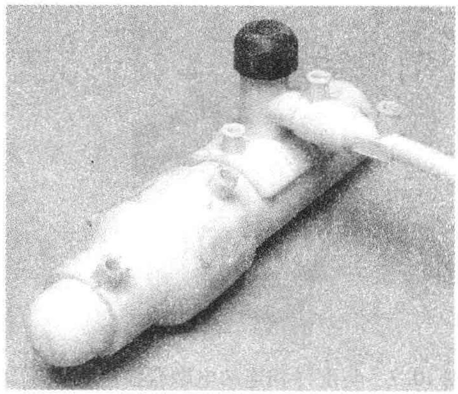


图10.4 管材端部的机械刮擦（来源：英国焊接研究所有限公司）。



10.5 电融合装配显示了攻螺纹三通、变径器和端帽配件（来源：英国焊接研究所有限公司）。

10.7.2 优缺点

电融合焊接是一个简单的过程，可以使预装管的连接和装配用最小的设备快速地完成。用它来修理东西很方便，例如连接被破坏管的替代部分，在空间受限制的地方也可以使用，例如在沟渠中焊接管材（见图10.6）。电融合焊接也可以用来焊接不同厚度和不同等级材料的管材，例如把高密度聚乙烯焊到中密度聚乙烯上（在不同的规则下都可以进行）[14,15]。

电融合焊接的缺点是易受污染物的影响，需要在插入之前对管材末端进行仔细的处理。

在泥泞的沟管中进行焊接也是比较困难的。同时，配件也是耗材，因此使用大直径管材和许多焊接接头的工程比较昂贵。

电融合焊接的另一个缺点是在焊接之后很难检查，因为焊缝被掩藏在配件下。

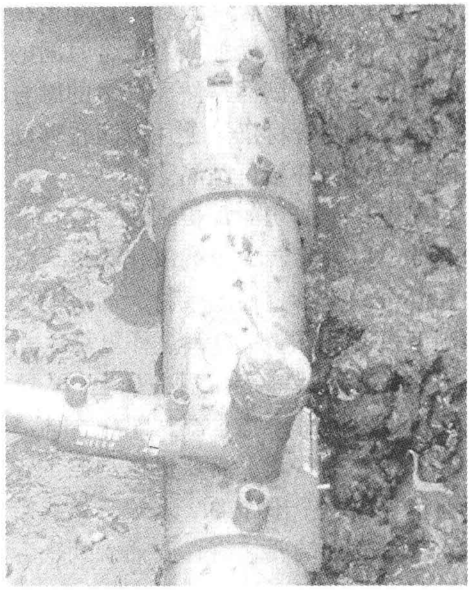


图 10.6 沟渠中的电融合焊接接头（来源：英国焊接研究所有限公司）。

10.7.3 设备

进行电融合焊接的设备主要包括三类：配件本身、电融合控制单元（ECU）和管限制夹钳（见图 10.7）。

耦合器和其他用于电融合焊接的配件一般都是注射成型的。大直径的耦合器有时是用机器对厚壁管和钢坯加工而成的。把电阻丝插入配件的方法有很多，通常使用机械手或者是数控制造技术。

电融合焊接配件的特征之一是弹出式熔体指示器（见图 10.8）。融合区熔池的扩展在焊接周期将它们激活，对操作者发出已经受到熔融压力的信号。

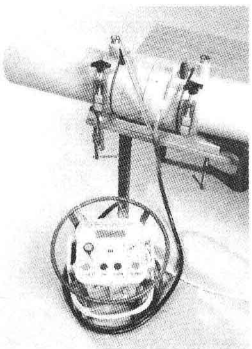


图 10.7 与配件相连的电融合控制装置（来源：英国焊接研究所有限公司）。

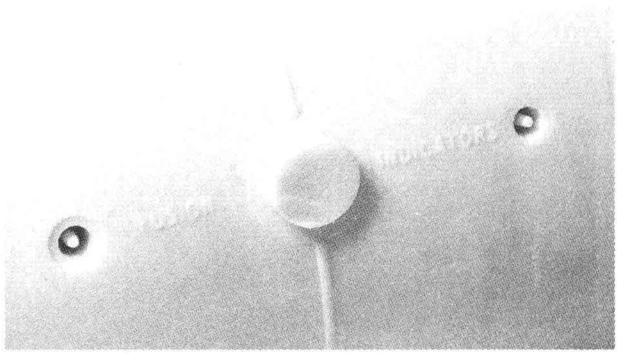


图 10.8 弹出式熔体指示器（来源：英国焊接研究所有限公司）。

电融合控制单元给电融合配件提供必需的电流进行线圈的通电和加热。它可以通过移动式发电机（额定输出一般是 110V，3.5kVA）获得电流，也可以通过标准主电源获得，将其转换为配件需要的电压。

在市场上可以得到不同制造商生产的多种电融合控制单元。大多数最新的型号都有数据储存单元，每一个焊接接头的焊接参数，包括日期和当天的时间，被记录在用于质量保证目的内存芯片中。也可以得到其他的特征，例如是手工还是自动操作，以及操作语言的选择等。最新的发展是，已经开始使用电池供电的电融合控制单元，这适用于管材尺寸不超过 63mm（2.5in）的有限数量接头的焊接，不需要辅助电源，这在现场进行焊接时给予了最大

程度的自由。

10.7.4　焊接参数

电融合焊接最重要的焊接参数是融合时间和冷却时间。操作电压也是一个参数，但限于配件的特定的制作范围，即，配件都设计成在相同的供电电压下工作。每一个尺寸的电融合焊接产品都有它自己特别的焊接参数。表10.1说明了融合时间和冷却时间随着管径的增加而增加。

表10.1　典型的电融合焊接参数

管直径/mm	融合时间/s	冷却时间/min
25	32	4
90	120	9
180	260	18
315	760	30

来自不同生产商的相同尺寸的配件有时有不同的融合时间和冷却时间。这取决于不同的设计规范，例如不同的导线材料和直径、线圈间距、线埋深度等。

焊接参数通常在产品上有所表现，可以用不干胶粘贴标签甚至直接雕刻在塑料上。许多配件具有由条形码标签提供的融合数据，可以通过连接在控制单元的光笔读出相应数据（见图10.9）。

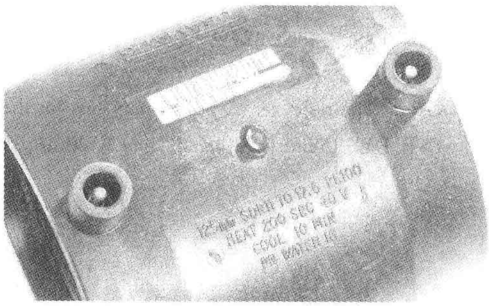


图10.9　电融合接头上的雕刻数据以及代码

参考文献

[1] Yousefpour A, Octeau MA, Hojjati M: Resistance welding of thermoplastic composites using metal mesh heating elements. Joining Plastics 2006, Conference proceedings, London, UK, April 2006.

[2] Savitski A: Resistive implant welding of thermoplastic composite. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, 2004.

[3] Don RC, McKnight SH, Wetzel ED, Gillespie JW: Application of thermoplastic resistance welding techniques to thermoset composites. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, 1994.

[4] Holmes ST, Don RC, Gillespie JW: Application of an integrated process model for fusion bonding of thermoplastic composites. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San

Francisco, 1994.

[5] McBride MG, McKnight SH, Gillespie JW: Joining of short fiber glass reinforced polypropylene using resistance heated fusion bonding. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, 1994.

[6] Holmes ST, McKnight SH, Gillespie JW, Wu SIY, Schwarz J: Large-scale bonding of PAS/PS thermoplastic composite structural components using resistance heating. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, 1993.

[7] McKnight SH, Holmes ST, Gillespie JW, Lambing CLT, Marinelli JM: Resistance heated fusion bonding of carbon fiber/PEEK composites and 7075-T6 aluminium. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, 1993.

[8] Wise RJ, Watson MN: A new approach for joining plastics and composites to metals. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, 1992.

[9] Ye L, Ageorges C: Large scale resistance welding of thermoplastic composites: feasibility and limitations. Composites from Fundamentals to Exploitation. 9th European Conference (ECCM), Brighton, UK, June 2000.

[10] Eckert R: Plastic pipes for high-pressure applications: jointing technique for new pipe design and materials. Plastics Pipes XIII, Conference proceedings, Washington DC, October 2006.

[11] Morgan D, Bowman J: A skinned polyethylene gas pipe system; in-trench benefits for gas utility companies. 17th International Plastic Fuel Gas Pipe Symposium, San Francisco, October 2002.

[12] Bowman J: Stages in the development of the strength of electrofusion joints. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, 1992.

[13] Frank T: PE-HD spiral pipes for sewage pipelines—electrofusion socket welding up to DN1800. Plastics Pipes XI, Conference proceedings, Munich, Germany, September 2001.

[14] Eckert R: Integration, shutoff and repair technology for PE pipe systems. Plastics Pipes XII, Conference proceedings, Milan, Italy, April 2004.

[15] Peterson A: The Manibs electrofusion repair sleeve. A preliminary test for the repair of damaged or leaking PE pipe. Welding Beyond Metal: AWS/DVS Conference on Plastics Welding, New Orleans, March 2002.

第 11 章 感应焊接

11.1 工艺描述

感应焊接，也叫电磁焊接或者是 EMA 焊接，使用无线电频率的（典型的是 2～10MHz）交流电感应加热和磁感应加热位于待焊件焊接接口处的植入物。这个植入物（或垫片），一般是与金属纤维或者铁磁颗粒混合的聚合物复合材料。产生的热熔融了植入物和周围的材料。这是个成熟而且快速的技术，可以在不到 1s 的时间加工一个小尺寸工件，也可以用 30～60s加工有长焊缝（400cm，即 157in）的工件，生产出有结构的、密闭的或高压的焊缝[1,2]。

最常见的两类通过感应场加热的机理是涡旋电流加热和磁滞损耗加热。在涡旋电流加热中，铜感应线圈（工作线圈）与高频电源相连，被安装在靠近焊接接头的地方（见图 11.1）。由于电流以高频穿过工作线圈，会产生一个动态磁场，它产生的磁通量会穿过植入物。在植入物中产生感应电流，当电流大到足以加热传导材料后，周围的热塑性材料开始软化、熔融。如果在焊接接头上施加压力，这会增加热塑性塑料的浸润，当焊接接头冷却时形成焊缝[3,4]。

由于滞后损失，铁磁材料（如不锈钢和铁）也可以在动态磁场下进行加热。随着磁场（B）的增加，铁磁材料变得有磁性，磁场强度开始增加。磁场下降，则磁场强度也下降。然而，在它们之间有个很大的滞后，产生磁滞回线（见图 11.2）。这个现象会使能量以热的方式耗散。

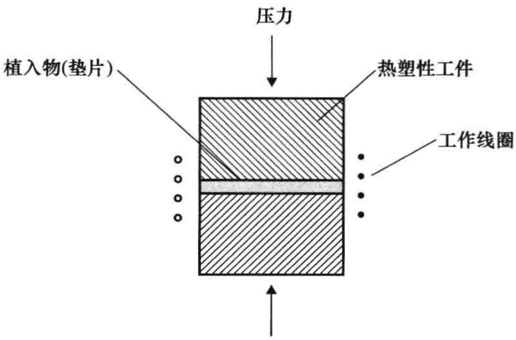


图 11.1 感应焊接的设置（来源：英国焊接研究所有限公司）。

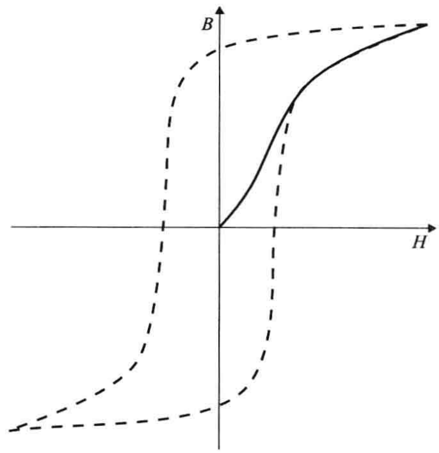


图 11.2 铁磁材料中的磁场（B）与交变磁场中的磁场强度（H）图。磁化曲线是闭合线，滞后曲线是虚线。磁滞回线的封闭面积等于线路中耗散的能量（来源：英国焊接研究所有限公司）。

感应焊接过程可以分为以下四步（见图11.3）：

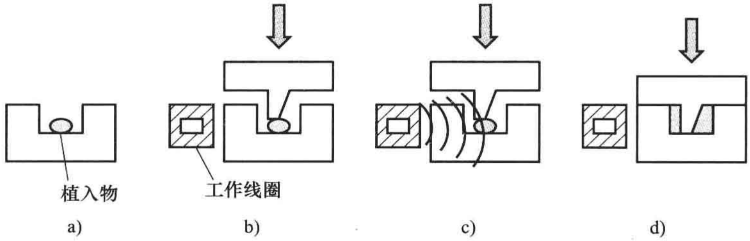


图11.3　感应焊接过程（来源：英国焊接研究所有限公司）。
a）植入物的放置　b）压力的施加　c）感应加热　d）在压力下的冷却

第一步：植入物的放置。

植入物可以以多种形式（如薄片、挤出型材、注射零件、带状和串状物（见图11.4），这取决于待焊工件的尺寸和形状）放置在工作线圈的位置。它们可以被放置在焊接接口，可以使用手工，也可以使用自动化的系统[1,5]。

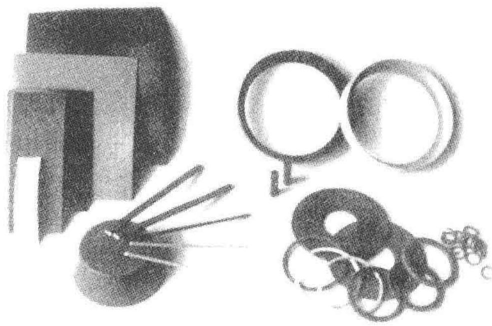


图11.4　各种形式的感应焊接植入物（来源：Emabond Solutions）。

第二步：压力的施加。

可以通过用连接在气缸上的夹具夹持工件，对工件施加压力。或者是将工作线圈嵌入到聚四氟乙烯或者是陶瓷块中，施加压力。

第三步：感应加热。

给工作线圈通电流之后，会产生一个加热植入物的电磁场，然后会以热传导的方式加热、熔化周边的热塑性塑料。电磁场随着与工作线圈的距离的增加以指数规律减小，因此焊接接头应尽可能接近线圈以减小植入物的热量。在加热过程中，植入物流动填充工件之间的间隙。

第四步：冷却和工件的移除。

到达预置时间之后，关掉电源，工件在压力下冷却到预置的时间。移除焊接部件，重复这个周期。

焊接强度和接触的表面面积成比例；然而，使熔融料流限制在接头区域是很重要的。需要填充到焊接接头腔内的熔融物料的量通过植入物（A_E）的横截面、待焊工件之间的空隙的横截面积（A_V）、以及变化范围在1.02～1.05之间的常数（k）来计算，取决于焊接中的压力和待焊材料：$A_E = kA_V$。常数（k）允许过度填充型腔，并确保任何表面不规则在焊接过程中变得平滑[1,2,6]。

11.2　优缺点

感应焊接对大多数热塑性塑料提供了有结构的、耐压的致密的焊缝。它可以用于一次焊接有长达6.1m（20ft）长的熔接线的大尺寸工件，也可以用于焊接复杂形状的三维焊接件，可以同时焊接多种接头。

可以在高填充的热塑性塑料中生产出高质量、无应力的焊缝。植入物在焊接接头区域中

加入树脂，以确保聚合物之间良好的连接，即使是表面不规则或者是工件之间存在大的公差也可。无论熔融温度是多少，一些用其他方式不能焊接的不相容的材料，可以用感应焊接。感应焊接不需要进行表面预处理，外表面不会发生扭曲。会在需要热的地方产生热，而在工件的主体部分不产生热应力，废品率比较低。可以获得更高的焊接可靠性，对温度和湿度更加不敏感，焊接对待焊材料的性能比如颜色和熔融温度的依赖更小。

在焊接之后，焊接接头可以使用相同的设备重新打开，以便对焊接缺陷进行修理或者打开装配进行内部修理或者回收。

在感应焊接中的生产周期是很短的，典型的焊接时间为1～10s，在能量需求上很经济，从而使得运行成本更低。

感应焊接的主要缺点是植入物的额外消费（可能很大）、优化工作线圈的成本以及把植入物放置在焊接接头的额外的装配操作。除此之外，植入物有时会影响焊接接头的力学性能[1,2,5-7]。

11.3 应用

感应焊接通常用于焊接大尺寸、形状不规则的注射成型、吹塑成型、挤出成型、旋转模塑或者是热成型的工件（见图11.5），或者用于焊接很难焊接的热塑性材料[6]。

很可能最大量的应用是在无菌饮料纸盒的封装上，纸盒壁上的铝箔层通过感应进行加热、熔融，与低密度聚乙烯（LDPE）涂层进行密封包装。

在汽车工业的应用中，使用这个技术生产旅行车结构承重地板和包含40%玻璃毡增强PP复合材料的座椅（见图11.6）。

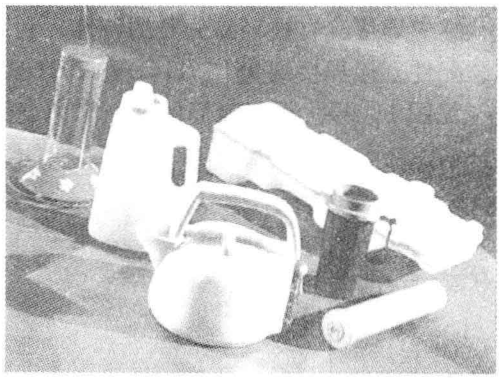


图11.5 感应焊接产品的例子（来源：Emabond Solutions）。

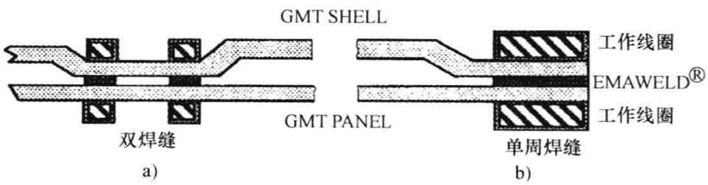


图11.6 用于包含40%玻璃纤维毡增强PP复合材料的感应焊接接头的设计，这是用来生产旅行车的结构承重地板（来源：参考文献［7］）。
a）双焊缝，位于平板和肋板的接口 b）单焊缝，位于工件的末端

感应焊接也已经用于制造玻璃填充尼龙6注射的汽车进气谐振器，它有着复杂的三维焊接接头，在同一个焊接周期会产生三个独立的焊缝[2]。

在器械行业中，感应焊接已经用于蒸汽熨斗、洗碗机喷水臂和聚丙烯水壶的制造（见图11.7）[7]。

在电子行业中，十六个38.1cm（15in）的结构泡沫聚碳酸酯电脑游戏机在输送线上被

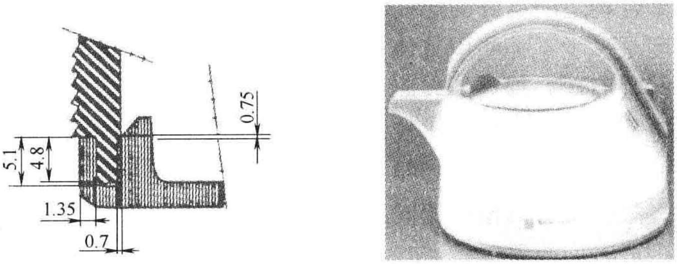


图 11.7　使用感应焊接的聚丙烯水壶（来源：参考文献［7］）。

自动组装。在包装工业中，PP 被焊接到 PE 上生产化妆品容器，使用连续旋转式封口机以每分钟 150 个工件的速度生产可靠的防漏密封。其他的应用包括在 9s 内焊接有 4ft（1.2m）融合线的 PP 太阳能电池板、用于医疗设备的 PC 血液氧合器和动脉过滤器组件[6]。

其他的应用包括将塑料包覆的金属盖封装到塑料瓶、连接交联聚乙烯（PEX）管材、焊接金属格栅到扬声器装置的前面、焊接高密度聚乙烯剪草机的护罩/储气罐（见图 11.8）[1,2,8]。

感应焊接缝有被轻易分开的特性，利用这个特性，可以把高密度聚乙烯 50mm（2.0in）螺纹配件直接焊接到 95L、114L 和 209L（25USgal、30USgal 和 55USgal）的吹塑鼓筒的开孔处（见图 11.9）。对于鼓筒的翻新来说，配件可以被轻易地移除[2,7]。

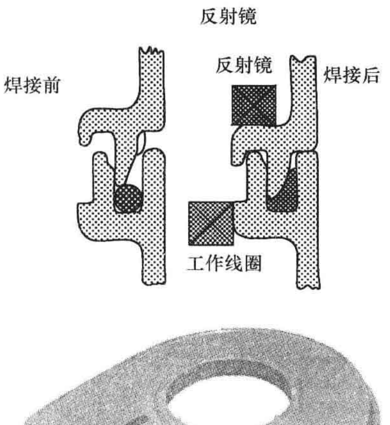


图 11.8　使用感应焊接方式焊接的聚丙烯割草机的护罩/储气罐。

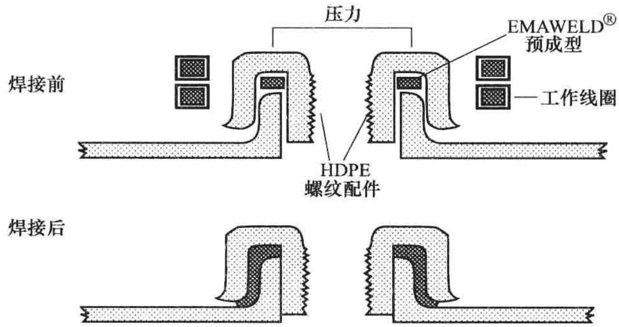


图 11.9　将聚乙烯管材配件感应焊接到吹塑成型鼓筒（来源：参考文献［7］）。

11.4　材料

相比其他焊接方式来说，感应焊接更少地依靠焊接材料的特性，它可以用来焊接几乎所有的热塑性塑料、结晶材料、无定形材料，可以焊接高性能但难以焊接的树脂。不同的材料，包含玻璃、滑石粉、矿物、木材或者其他填料的热塑性塑料可以进行焊接。热塑性塑料

可以焊接到非热塑性塑料材料（如纸）上。当焊接不同的热塑性塑料时，包围铁磁材料的热塑性基由待焊接的两种材料的混合物组成。在焊接填充材料时，可以增加植入物中热塑性树脂的量来补充工件中填料的含量。在焊接中会产生大量的熔融物，从而产生高强度的连接。填充物含量高达65%的增强塑料已经被成功焊接[6,7]。

对例如PPS、PA12和使用玻璃纤维和碳纤维增强的PP的热塑性材料也可以进行感应焊接。与胶粘和铆接相比，使用感应焊接可以获得强度高得多的焊接接头[9]。

11.4.1 植入物材料

电磁材料可以是金属网，或者是各种微米尺度的、不同颗粒大小的、不同含量的铁磁性粉（金属的，例如铁或者不锈钢；或者非金属的，例如铁氧体材料）。在焊接热塑性塑料时，这些电磁材料被密封在和待焊接的塑料兼容的热塑性基之中。在连接诸如片状模塑混合料的热固性材料时，在电磁材料周围有胶粘基。粘合剂中直接产生热，快速固化，在环氧树脂固化中，凝胶的时间可以短至30s[1,2,6]。

对用同样的热塑性材料制作的工件的粘接，基和工件是同一种材料，可以在熔融料流中进行连接。对不同材料的情况，可以使用两种热塑性材料的混合物。对每项应用的植入物配方必须仔细地考虑，最大效率依赖于定制材料的生产[1,5]。

11.5 设备

感应焊接的典型设备如图11.10所示，主要包括五部分：感应发生器、工作线圈或者感应线圈、热交换器、压力设备、夹具或嵌套装置。

感应发生器：感应发生器把50～60Hz的电源频率转换为无线电频率(2～10MHz)，功率为1～5kW，取决于所使用的设备。为了保证系统一致、有效的操作，加载的工作线圈的阻抗要和发生器的输出阻抗相匹配，这被称作调整线圈。

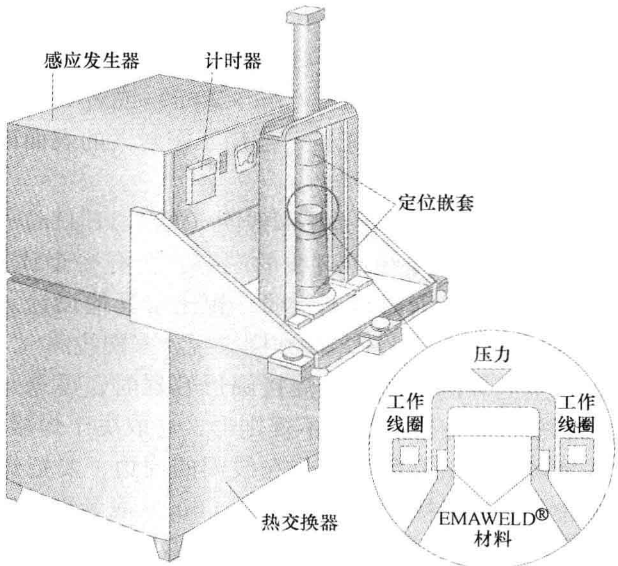


图11.10 典型的感应焊接机。放大图显示放置工作线圈和植入物的焊接接头区域（来源：Emabond Solutions）。

热交换器：在焊接循环过程中，通过线圈的电流值很高。因此，为了防止过热，水流过线圈同时通过热交换器进行冷却，热交换器和发电机一般合并在同一个装置中。

压力设备：在焊接过程中提供压力的系统，一般是一个与气缸（或者是液压缸）相连的柱塞。

夹具：夹具或者是定位嵌套装置在焊接中把工件夹持在一起。一般来说是把一个嵌套件固定，另一个嵌套件可动。使用非导电材料比如酚醛或者环氧树脂来构建嵌套装置，因为在线圈附近的金属导体会降低磁场的强度。

可以通过使用编程控制、半自动或自动焊接，将感应焊接系统设计成在线的或者旋转工位的高速密封生产线。使用自动焊接设备，可以以每分钟150个工件的速度密封工件。

设备的成本从几十到成百上千美元，取决于所需要设备的尺寸、自动化程度，以及具体应用[1,5,7]。

11.5.1 工作线圈

工作线圈的功能是在焊接接头附近产生一个磁场。要和感应发生器的功率输出相匹配，设计的时候要考虑降低在高频下产生电弧或过载的倾向[2]。

工作线圈的设计和位置对取得高强度的焊缝和工艺效率是很重要的。工作线圈应该是按照焊接接头的轮廓，为每个工件专门定制的。线圈和焊接接头之间的距离（耦合距离）应该尽可能地小，理想的距离是小于1.6mm（0.063in）；在焊接中需要比较小的耦合距离，因为磁场用于产生热量的能量与距线圈的距离的平方是成反比的。线圈可以适应三维焊接接头，可以焊接长达6.1m（20ft）的焊接接头。在线圈中心要放置铜反射器，这样可以集中焊接接头区域的磁场[2,10]。

也可以用铜管、片料或者加工块来生产线圈；所有线圈的冷却方式都是水冷。用管材做的线圈可以是圆的、方的或者是矩形的；一般尺寸是3.2mm（1/8in）、4.8mm（3/16in）、6.4mm（1/4in），和9.5mm（3/8in）。因为在3.2mm线圈中受限制的水流可以导致过热，这个尺寸只用于短加热周期和小尺寸工件，这在轻微的过热下不会受到影响。为了获得最优耦合距离，方形管比圆形管更好。铜片料（1/16in，1.6mm厚）用于尺寸达127mm×508mm（5in×20in）或者25.4mm×2030mm（1in×80in）的大尺寸工件，还用于密封大的表面区域，以及不规则的平板形状[2]。

最简单的线圈设计是单圈线圈（见图11.11a），磁场集中在线圈内径附近。在线圈引线的端部，会有一个比较弱的磁场，可以通过使用反射器得到削弱。相比于其他设计，这个线圈需要更少的空间。相比于单圈线圈来说，多圈线圈（见图11.11b）可以产生更高的磁场。在焊接圆形容器时，可以是圆柱形、螺旋形、矩形、方形或者是不规则形，这取决于焊接接头的轮廓。由于磁场强度最高的地方是在线圈的周边，要把焊接接头放在线圈中心。当焊接工件是152mm（6in）或者更大时，需要反射器来产生最大的效果。线圈的匝数取决于焊缝的总表面积，多圈线圈的长度不应该大于线圈直径的3～4倍。扁平线圈（见图11.11c）用来加热大的平面，它是通过在水平面内缠绕线圈达到预定的直径而制成的[1,2]。

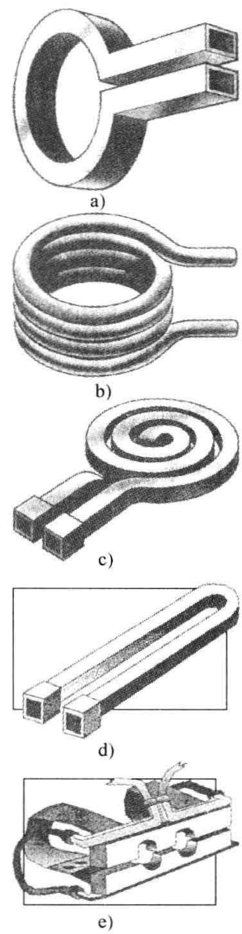


图11.11 感应焊接中常见的工作线圈（来源：Emabond Solutions）。
a）单圈线圈 b）多圈线圈 c）扁平线圈 d）发夹式线圈 e）分裂线圈

发夹式线圈（见图11.11d）是挤压在一起的单圈线圈，这样在线圈之间的耦合距离等于工件厚度。由于耦合距离减少，

磁场强度变得更加集中。发夹式线圈可以形成不规则的形状，用于焊接长的平板或者是对玻璃纤维毡复合材料制成的结构件进行周边密封。对于大的工件（如管材或者导管），或者是对于接近焊接接头线有限的工件来说，可以使用分裂线圈（见图11.11e）。分裂线圈可以打开，便于取出工件[1,2]。

11.6 接头设计

在感应焊接中使用五种最基本的焊接接头的设计如图11.12所示。最简单的设计是平面对平面焊接接头，用于持续焊接操作，或者是用于有长焊缝的工件，这种焊接接头产生有结构的焊缝和静流气密密封。平面对槽焊接接头确保焊缝精确的位置和植入物的容纳，当植入物材料需要自动挤出到焊接接头接口时使用这种焊接。使用榫槽焊接接头可以获得强度最高的焊缝，植入物被完全包含在焊接接头中，产生密闭和耐压的密封以及美观的焊缝。剪切焊接接头用于高压容器的密封，焊缝可以承受容器内部和外部的压力。阶梯形焊接接头为剪切焊接接头的修改，可以容纳工件收缩的各种情况，可以产生高压、密闭的密封。

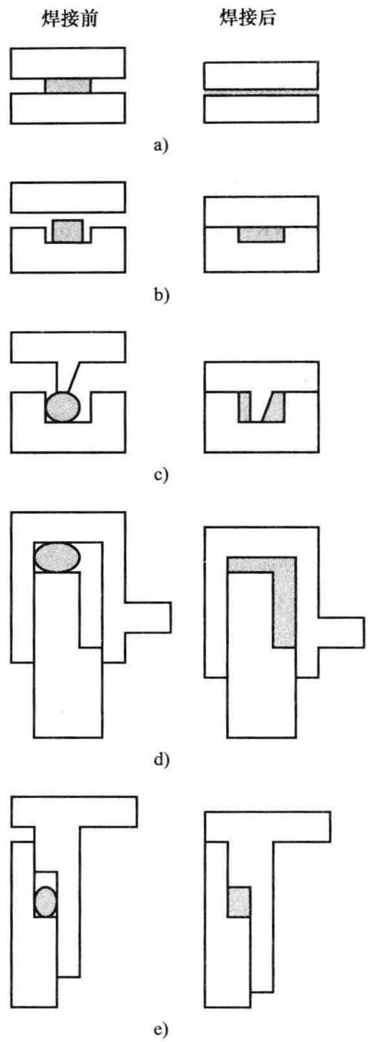


图11.12 感应焊接中焊接接头设计（来源：英国焊接研究所有限公司）。
a）平面对平面焊接接头
b）平面对槽焊接接头 c）榫槽焊接接头
d）剪切焊接接头 e）阶梯形焊接接头

11.7 焊接参数

感应焊接中主要的焊接参数是功率、焊接时间、焊接压力和冷却时间。

典型的感应焊接功率为1～5kW。在焊接大尺寸工件或者大的焊接接头长度的工件中需要大的功率输出。随着焊接接头和线圈之间耦合距离的增加，功率输出也需要增加。

焊接时间取决于电磁填料的种类和粒径尺寸、封闭在热塑性基体中的电磁填料的横截面面积、功率输出、频率以及工件尺寸。这些参数根据每个特殊的应用而进行定制[2,5]。

焊接压力确保焊接接头中植入物的均匀分布。冷却时间取决于具体的应用，可以少于1s。

在感应焊接中其他重要的因素包括焊接接头、工作线圈的设计、磁场频率以及电磁材料的种类。

参考文献

[1] Sanders P: Electromagnetic welding: an advance in the thermoplastics assembly. *Materials & Design*, Trade

Journal, Elsevier, 1987.

[2] *Emaweld: Electromagnetic Welding System for Assembling Thermoplastic Parts*, Supplier technical report, Ashland Chemical Company, 1995.

[3] Davies J, Simpson P: *Induction Heating Handbook*, Reference book (ISBN-13: 978-0070845152), McGraw-Hill, 1979.

[4] Harry JE: *Plastics Fabrication and Electrotechnology*, Reference book, Heydon & Sons, 1971.

[5] Stokes VK: Joining methods for plastics and plastic composites: an overview. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

[6] Thompson R: Assembly of fabricated parts. *Modern Plastics Encyclopedia 1988*, Reference book (M603. 1), McGraw-Hill, 1987.

[7] Chookazian SM: Electromagnetic welding of thermoplastics and specific design criteria with emphasis on polypropylene. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

[8] Friend S, Harget D, Hauki P: High performance fusion jointing of PE-X pipes. Plastics Pipes XI, Conference proceedings, Munich, Germany, September 2001.

[9] Rudolf R, Mitschang P, Neitzel M: Induction welding of fabric-reinforced . fibre-plastic composites. *Schweissen und Schneiden*, 53 (10), p. 690, October 2001.

[10] Elber G: Putting the heat on attachable parts. *Plastics Design Forum*, Trade Journal, Advanstar Communications, 1993.

第12章 热　封

12.1 工艺描述

热封是用来连接热塑性塑料薄膜的技术，通常膜厚小于0.5mm（0.02in）。热封工艺主要分为两类——热压焊接和脉冲焊接。

12.1.1 热压焊接

热压焊接的主要原理是，两片热塑性塑料薄膜被压在加热的金属块下，这两片热塑性塑料薄膜就会变软并最终连接在一起。由于这种技术依赖薄膜的热传导能力，所以对加工材料的厚度是有要求的。有时也使用两个加热金属块以减少焊接时间。

焊接设备包括一个或两个金属块，采用电加热。通常其中一个块是由铰链连接的，以便放置或移动薄膜。焊接压力由操作人员控制或者通过气缸控制。通常在金属块表面包覆有PTFE，以防止薄膜软化粘附（见图12.1）。

焊接的主要参数是金属块温度、焊接压力和焊接时间。热压焊接的时间通常很短，100μm（0.004in）厚的薄膜大约要1~3s。

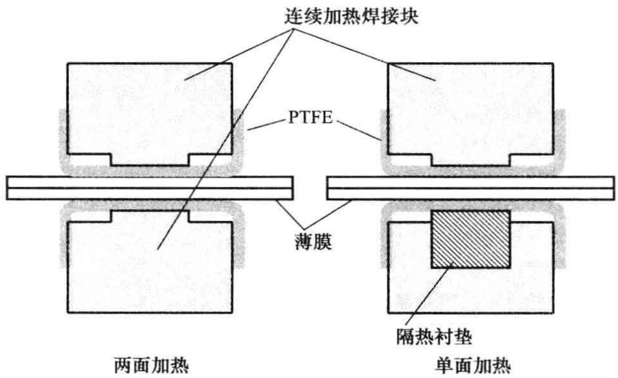


图12.1　热压焊接示意图（来源：英国焊接研究有限公司）。

传统的热压焊接工艺，加热的金属块移走时焊缝仍旧是熔融的，因此在冷却过程中，薄膜连接处没有压力作用。这就有可能导致薄膜焊接处分开，特别是在薄膜受到拉伸作用时。为了解决这一问题，研究出了一种新型的热压焊接技术，称为加热工具/冷却工具焊接。当热循环结束时，由冷却工具提供压力，以避免薄膜焊接处的分开[1]。

热压焊接的另一种形式是连续热封，用加热带或滚筒来替代金属块。

12.1.2 脉冲焊接

脉冲焊接是一种常用的连接包装薄膜材料的方法。通常这种技术用来焊接直线，但由于包装的复杂要求，现在已经可以进行曲线和三维密封。

脉冲焊接时，被焊接的薄膜被固定在两焊爪之间，至少有一个焊爪包含有镍铬电阻条。电阻条通常包覆有一层防粘涂层，如PTFE，以防止熔融薄膜粘到电阻条上（见图12.2）。电阻条的尺寸由焊缝的宽度决定。当焊爪夹紧包膜层时，脉冲电流通过电线传递，使温度迅速提高并传递给薄膜，接口处的薄膜表面熔融，冷却固化形成焊缝。同时在薄膜表面施加压力，保证加热和冷却时熔融表面紧密接触。

传统脉冲焊接时，温度和压力是不受控制的。在每一次加热后，电线的温度还会缓慢上升。为了解决这一问题，现在可以对脉冲焊接进行控制，加热元件对薄膜的压力和温度都受到严格控制。通常压力是气压控制的，保证对薄膜恒定的焊接力。焊接温度由反馈控制器控制，不会导致过热。然后在压力控制下进行冷却循环直至材料固化，整个焊接过程只有数毫秒[2]。

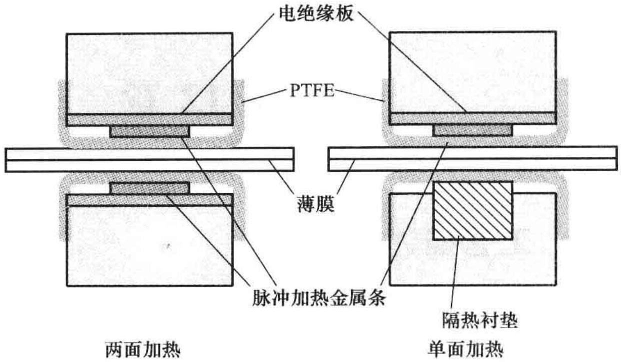


图 12.2 脉冲焊接示意图（来源：英国焊接研究有限公司）。

12.2 优缺点

热封技术的主要优点和缺点如表 12.1 所示。

表 12.1 热封的优点和缺点

优 点	缺 点
有限的空隙或孔隙	热量施加在薄膜的外侧，导致能量散失并降低效率
不需要消耗材料	只用于薄膜，最厚的为 0.5mm（0.02in）
焊珠小或者无焊珠	热压焊接时热量传输到产品内部包装
大批量生产时不需要磨削焊瘤	仅限于相对简单的接头设计
接口设计简单	在密封区域的褶摺处可能出现破坏
焊接循环时间短	工件或焊爪没有对准可能导致泄漏
低温下特殊密封的完整性	
没有污染制品的粘合剂和耗材	
密封可剥离或可刺破	
比其他密封方法成本效率高	
可得到光学清澈的密封	
能效高（脉冲焊接）	

12.3 应用

热压焊接和脉冲焊接广泛应用于工业领域，主要应用在封装热塑性塑料的包、膜、容器等包装领域。塑料食品包装应用主要包括塑料盆和盘的封装（见图 12.3）。



图 12.3 热封食品包装产品举例（来源：包装自动化有限公司）。

预加工好的容器、盆和盘可以用塑料薄膜、铝箔或纸的罩子封装。罩子可以先加工好或从卷材中裁取。罩子的材料位于容器开口面外，然后封装容器开口。热封过程中，密封剂把容器和盖子粘接在一起。应避免容器和薄膜的污染（食物或油），这将影响封装强度。如果存

在污染，那么应该修改机器的封装参数。

许多医用设施也进行塑料热封包装。热封后的表面具有纹理，会减小连接强度或者控制连接强度，这样就可以得到无菌元件易开包装。静脉注射包、粉料袋、结肠造口术袋和药片的气泡包装都是热封包装的（见图12.4）。

热密封技术还应用于过滤器薄膜的密封（见图12.5）。

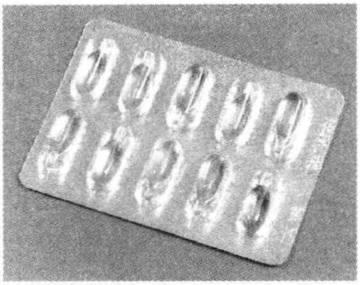


图12.4 热封气泡包装
（来源：英国焊接研究有限公司）。

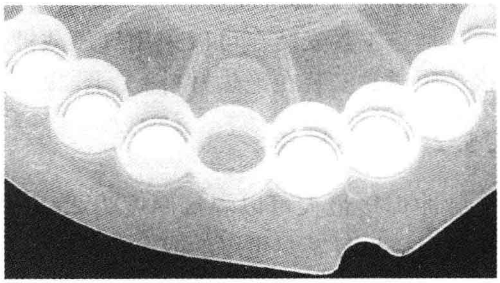


图12.5 热封医疗薄膜过滤器
（来自：热压国际）。

除了医疗包装外，一些电子元件也采用热密封，像印制电路板、电子元件包装和液晶显示器（见图12.6）。

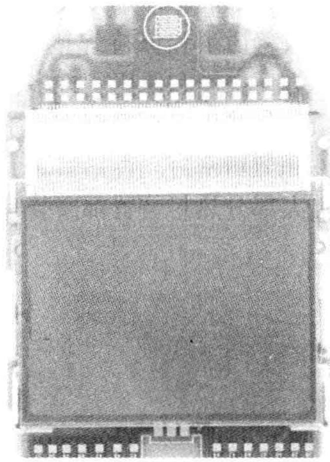


图12.6 热封液晶显示器
（来源：热压国际）。

12.4 材料

与其他的密封焊接技术（如射频焊接）不同，热密封技术不受材料限制，可以用来连接很多种不同的热塑性塑料。下面介绍一些在选择材料包装时的注意事项。

1）包装的产品可能意味着哪种材料更加合适。

2）选择材料时要考虑材料的价格。

3）考虑市场和消费者的看法，并从材料的美学角度选择。

4）包装上热封到一起的两部分材料必须兼容。

聚乙烯材料，如LDPE、LLDPE，或者LDPE、MDPE、HDPE、EVA等的混合物在热密封包、袋及收缩包装领域广泛应用。PP、PVC、PS、IPS、PA、铝箔等很多材料都可以进行热封，主要用于包装行业。热封工艺所使用的薄膜主要有两种加工方法：

单层膜。单层材料通常涂覆有粘合剂（低熔点）涂层。涂层通常含有无定形PET（高温使用，如烹饪）、EVA（微波产品）和PE。

多层膜。由两种或两种以上材料复合形成。密封剂由材料、密封工艺（如焊接或剥落）和焊接成本决定。

选择医疗产品包装材料时，应考虑包装作用和包装方法。由于无菌的特性要求，必须完整了解医疗设备的设计、作用和包装工艺。采用热封的包装系统可以选择多种材料。应用于医疗器械的热封材料主要有聚乙烯、聚酰胺、聚酯纤维、聚丙烯、聚碳酸酯和聚苯乙烯。

12.5 设备

12.5.1 热压焊接

热压焊接设备装配简单，通常由包覆有不粘涂层（如PTEF）的加热工具组成。加热工具采用电加热并保持温度恒定。加热工具安装在可以采用气压或液压控制的活塞上。焊接薄膜通常安装在绝热材料上，图 12.7 为热压焊接装置。

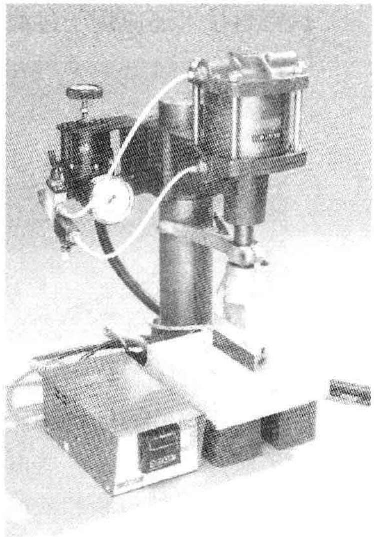


图 12.7 热压焊接装置（来源：英国焊接研究有限公司）。

12.5.2 脉冲焊接

脉冲焊接最大可以焊接厚度为 250μm 的薄膜。双元件焊接机可以反复密封更厚的或三角形的材料。脉冲焊接电压很低，镍铬电阻导线能迅速加热至合适温度，然后元件冷却，使熔融高分子在压力下固化。

通常，脉冲焊接设备安装有电子计时器来准确控制焊接过程。大部分脉冲焊接设备还装有计时器来控制冷却过程，以便改善质量和保持焊接一致性。其他参数都编入机器程序，方便操作和使用。许多机器上都有安全剪切装置来去除多余材料或用扁平管制作袋子。此外还有特殊用途的宽焊接元件和剪切密封元件。

大部分热封装置都安装有辊子和托盘，使材料通过密封机更容易操作（见图 12.8）。



图 12.8 脉冲焊接聚乙烯袋（来源：英国焊接研究有限公司）。

12.5.3 自动热封

在食品包装行业，热封技术的发展方向是：更小的机器设计，更节省空间，以及全自动

化和高速密封的实现。自动密封机不仅兼有人工密封机操作简单灵活的特点，还包括先进的控制系统，最高速度为72包/min（见图12.9）。

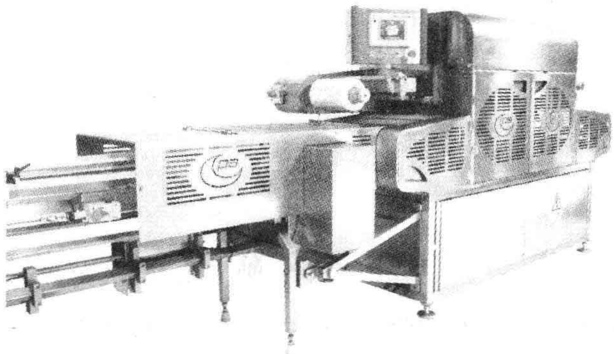


图12.9 全自动食品袋热封装置（来源：包装自动化有限公司）。

自动热封机还有如下特点：
- 空气、气体冲洗和真空冲洗。
- 适于将普通膜或印刷膜封装到任何兼容的容器。
- 工具更换快速简单。
- 控制面板触摸敏感，可对密封参数和快速简单更换产品的工具预先编程。
- 产品信息数据记录。
- 诊断能力，判断生产中的设备错误。

12.5.4 连续热封

连续热封机能够进行持续高效的密封。大部分密封机使用移动的加热带来密封包装材料（见图12.10）。也有些机器使用加热的辊子同时来提供加热、加压和冷却。通常未封的包、袋或薄片由操作人员送入到加热带。有的热封机还有自动弄平系统和传送装置，在热封过程中不必人工送料。

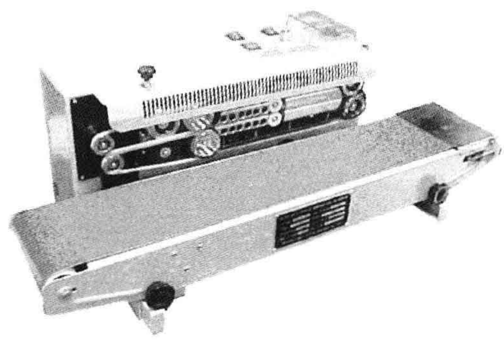


图12.10 皮带式喂料连续热封机（来源：简单密封件）。

连续热封机可以对小型或中型尺寸包装进行密封。热封速度和温度可以调整，以满足对不同材料和厚度的高产热封。连续热封机比热压焊接机和脉冲焊接机更加复杂，有更多的运动部件。使用带和传送装置需要电动机、齿轮和更复杂的电子控制系统，增加了成本和保养费用。

12.6 热封参数

热封工艺中有两个主要参数——时间和温度。而为了保证优良一致的质量，还应该控制

其他的工艺参数：

- 热封环境。
- 焊爪/热板的几何形状。
- 预热。
- 元件设计。
- 加热温度。
- 冷却温度。
- 密封压力。

参考文献

[1] Potente H, Karger O: Heated-tool/cooled-tool welding—a new process variant for the joining of films. *Welding and Cutting*, 55 (3), p. 132, 2003.

[2] Trillich C: Process control improves heat-seal quality. *Pharmaceutical and Medical Packaging News*, Trade Journal, Canon Communications, February 2005.

第 13 章　无逸料焊接

13.1　工艺描述

无逸料焊接，顾名思义，就是指在焊接过程中不产生逸料。无逸料焊接可以用来焊接管材、棒材和片材。

13.1.1　管材焊接

无逸料焊接的原理是在焊接过程中熔体受到完整约束。有的采用加热金属卡圈，类似于 BCF（无逸料焊接）和 WIP（现场焊接）；有的采用电熔型配件安装在管外，类似于高性能熔融焊接（HPF），同时在管内装有可充气的弹性气囊（见图 13.1）。

无逸料焊接工艺中，待焊的管材被剪切至合适长度，管材末端应保证平直。管材表面、加热卡圈、气囊需用酒精擦拭干净。进行无逸料焊接时，先将第一个管材插入焊接机，使管材端部位于卡圈中部，并由夹具夹紧，以免在焊接过程中产生轴向位移，再将气囊插入管中至卡圈中部，气囊的一半长度从管材端部伸出。然后插入第二段管材，使两管间没有缝隙，夹具夹紧（见图 13.2）。最后对气囊充气至 0.4MPa，开始加热，达到预定时间后，保持压力不变，降低温度，使管材冷却的同时气囊仍处于充气状态。BCF 焊接接头横截面如图 13.3 所示[1]。

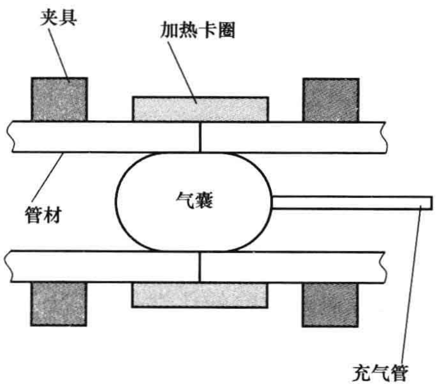


图 13.1　无逸料焊接管材原理图（来源：英国焊接研究有限公司）。

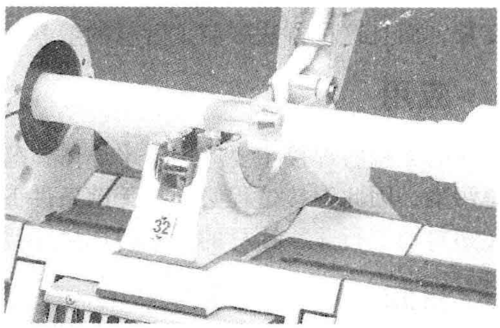


图 13.2　BCF 焊接时管材和气囊的定位（接头部位剖开以展示气囊的定位）（来源：乔治费舍尔管道系统）。

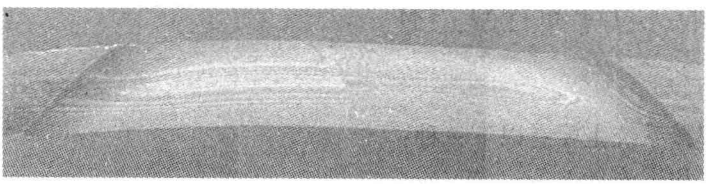


图 13.3　BCF 焊接接头横截面（来源：英国焊接研究有限公司）。

对于棒材焊接来说，焊接原理相同，但是只有外部卡圈，不使用气囊。

13.1.2 片材焊接

片材的无逸料焊接就是采用常用的融流焊。在这样的布置中，加热元件和固定装置分布在焊接接头的顶部和底部（见图 13.4），图 13.5 为融流焊示例。

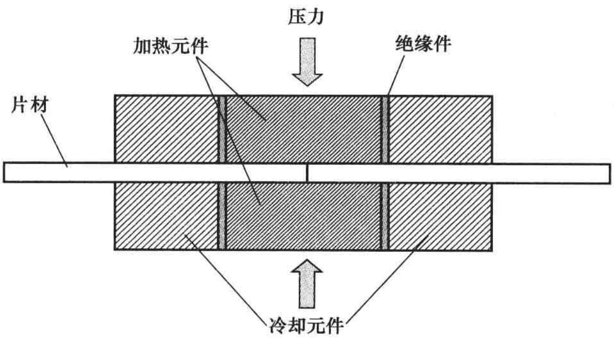


图 13.4 片材无逸料焊接原理图
（来源：英国焊接研究有限公司）。

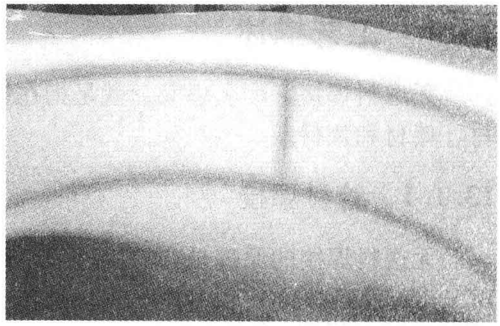


图 13.5 2.3mm（0.09in）厚带玻璃
纤维衬层的氟化乙丙烯
共聚物（FEP）片材的融流焊接。

13.2 优缺点

无逸料焊接的主要优点就是没有焊珠或飞边，十分适合洁净度要求高的产品。如果管材内部存有焊珠，那么在此处易形成“死流区”，产生污染和滋生细菌。此外焊珠边缘凹口处应力十分集中，会减少焊接接头的长期完整性，特别是当管材内流有危险流体的时候。

无逸料焊接的缺点是，焊接热由加热元件提供，但热量传递必须经过工件壁厚，使焊接周期变长，而且这种方法限制了管材的壁厚，最大为 3mm（0.12in）。

13.3 应用

管材的无逸料焊接主要应用于半导体、药剂和食品加工行业，这些行业要求在运输流体时避免污染，因此焊接过程必须在无菌条件下进行[2]。

在塑料加工行业，片材的无逸料焊接主要用于储存纯净度高或危险的化学品。

13.4 材料

无逸料焊接主要用于焊接含氟聚合物，像外径 20 ~ 63mm 的 PVDF、全氟烷氧基树脂（PFA）和 PP 管材，厚度 0.5 ~ 3mm（0.02 ~ 0.12in）的含氟聚合物（PVDF、乙烯－氯三氟乙烯共聚物（ECTFE）、FEP 和 PFA）片材。

13.5 设备

管材无逸料焊接系统主要有以下三种：

- 无缝焊接（BCF 系统）。
- 现场焊接（WIP 系统）。

- 高性能焊接（HPF 系统）。

BCF 系统（见图 13.6）可以焊接直径 63mm（2.5in）的 PVDF 和 PP 管材，并有一系列直径不同的卡圈，以适应不同管材直径。焊接参数编入机器程序，焊接动作可以自动进行，加热和夹具的动作可以不受控制单元限制，便于现场焊接（见图 13.7）[1]。

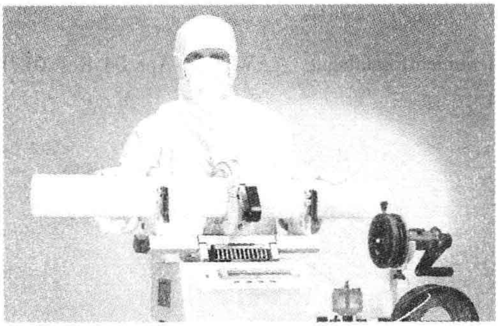


图 13.6　BCF 焊接机
（来源：乔治费舍尔管道系统）。

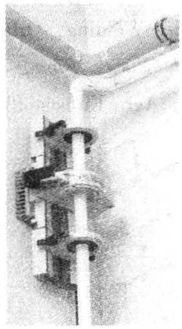


图 13.7　BCF 原地焊接
（来源：乔治费舍尔管道系统）。

WIP 系统可以用来焊接直径小于 50mm PFA 的管材。与 BCF 类似，采用手提式的加热卡圈，并且没有单独的夹具。此外焊接动作也是全自动的，由控制单元控制。

HPF 系统可以用来焊接直径小于 63mm（2.5in）的 PVDF 管材。和电熔焊接类似（见第 10 章），使用带有加热线圈的注射成型配件，而配件内加热区域不是两个，只在配件中间有一个加热区域（见图 13.8）[3]。

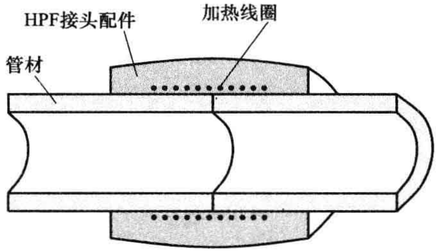


图 13.8　HPF 焊接原理图（气囊未画）（来源：英国焊接研究有限公司）。

用来焊接板材的融流焊设备内部结构需要专门定做。

13.6　焊接参数

无逸料焊接的主要焊接参数是温度、加热时间、冷却时间，这些参数由管材的壁厚、直径和材料共同决定。HPF 系统的焊接时间见表 13.1[3]。

表 13.1　HPF 焊接时间

管材外径/mm	焊接时间/s①	管材外径/mm	焊接时间/s①
20	480	40	645
25	500	50	820
32	785	63	810

① 包括 300s 冷却时间。

参考文献

[1] *A Guide to the Design and Installation of Plastics Pipeline Systems*, Supplier design guide, Georg Fischer Piping Systems, 1996.

[2] Lueghamer A: Fusion systems for high purity piping performed under clean room conditions. AWS/DVS Conference on Plastics Welding, Orlando, October 2000.

[3] *PURAD High Purity Piping Systems*, Supplier technical catalogue (AWT/Gp-Apr. 04-Rev. 01/E; HP_e2004. pmd), Agru Kunststofftechnik GmbH, 2004.

第 14 章　摩擦搅拌焊接

14.1　工艺描述

14.1.1　旋转摩擦搅拌焊接

摩擦搅拌焊接（FSW）是由英国焊接研究有限公司发明的专有技术，是一种连续连接塑料的高级技术。在传统摩擦搅拌焊中，先将两块片材或板材对接，轴肩一侧装有探针的圆柱形工具缓慢插入连接处（见图 14.1），然后将两工件固定，防止焊接过程中受力分开。耐磨工具和材料摩擦产生热量，热量使材料熔融软化，使工具沿着连接线横向运动。熔化的材料随着工具从一边拖动到另一边，并将两零件焊接起来。焊接过程称为穿孔型焊接法，先产生合适探针的孔，在焊接过程中再将其充满[1]。

尽管摩擦搅拌焊可以焊接许多金属，特别是铝合金，但在焊接塑料时还有如下几个问题：

- 难以将材料保留在焊接处，使焊接处产生空隙。
- 焊接速度缓慢。
- 在焊接处难以使两种材料均匀混合。
- 产生焊珠或不均匀凸起。

为了解决这些问题，杨百翰大学（Brigham Young University）研究了一种使探针穿过的热靴工具（见图 14.2），热量不再由轴肩产生，而是由热靴产生，并且对熔融材料也有限制喷出的作用[2,3]。

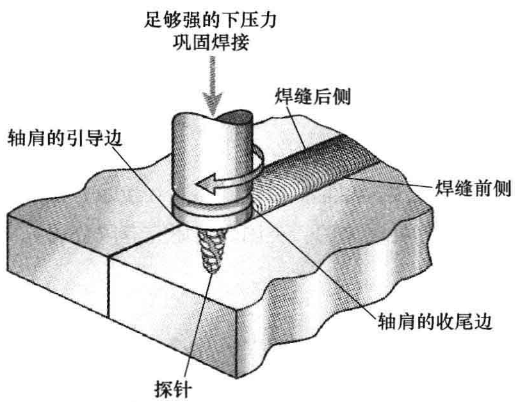


图 14.1　旋转摩擦搅拌焊接原理图（来源：英国焊接研究有限公司）。

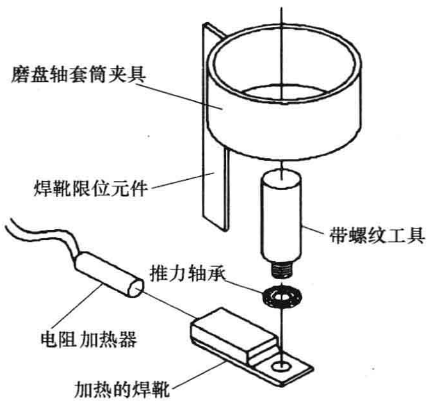


图 14.2　热塑性塑料旋转 FSW 的热靴系统（来源：参考文献［2］）。

14.1.2　垂直往复式 FSW

垂直往复式 FSW 的原理如图 14.3 所示，含有一个垂直往复运动的刀片。热量由刀片和

塑料材料摩擦产生。这种结构的主要问题是对连接处的熔体没有限制作用，使得焊接处容易产生空隙，降低焊接强度。

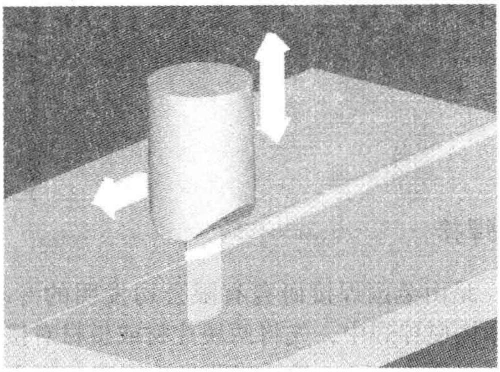


图 14.3 垂直往复式 FSW
（来源：英国焊接研究有限公司）。

14.1.3 Viblade 焊接

FSW 的另一种变化是刀片沿焊缝方向往复运动，如图 14.4 所示。这种结构的优点是刀片一直在焊接线上，对熔体有限制作用，另外还减少了热损失，比垂直往复式 FSW 平均温度高[4]。

Viblade 焊接如图 14.5 所示。

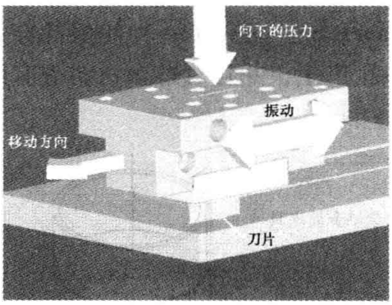


图 14.4 Viblade 焊接原理图
（来源：英国焊接研究有限公司）。

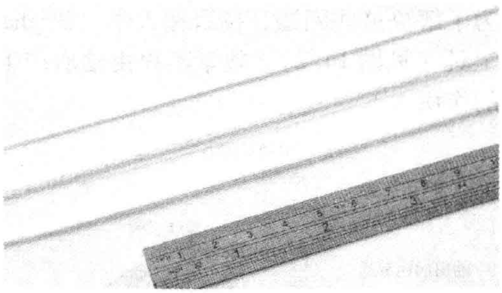


图 14.5 Viblade 焊接 9mm（0.35in）厚的 PP 片材（来源：英国焊接研究有限公司）。

14.2 优缺点

与热气体焊接、挤出焊接等焊接工艺相比，Viblade 焊接有以下几个优点：高产量，特别是厚截面（大于 10mm，即 0.39in 的）零件；焊接过程连续；接头设计简单，适用于大部分热塑性塑料；无逸料焊接；焊接过程全自动，提高了焊接质量和焊接成功率。

由于摩擦搅拌焊只能够进行直线焊接，因此没有广泛应用于塑料连接。

14.3 应用

随着塑料在加工制造行业的广泛使用，需要发展新的焊接技术来提高产量和得到一致完

整的焊缝。现在焊接厚塑料结构板材（用于制作化学品储藏容器）的技术主要有热气体焊接、挤出焊接和对接焊接。热气体焊接和挤出焊接的焊接质量由工人的技术决定。全自动FSW可以替代人工加工大型塑料器皿，同时获得良好的焊接质量。FSW技术还没有商业化，但对塑料板材连续焊接有深远的影响。

14.4　材料

FSW可以用来连接多种材料，只要工具的材料和设计满足加工材料的熔融和流动。实验室中的ABS、PP、HDPE的连接强度是母体材料的95%，其他材料如PVC和PVDF也可以很好地进行焊接[2]。

14.5　设备

14.5.1　旋转摩擦搅拌焊接

旋转摩擦搅拌焊接设备十分简单，可以由很多常见的机器改装而成，比如立式铣床。机器的框架必须坚固耐用，以免在焊接过程中产生偏移，同时还要提供足够的功率保证旋转焊接头工作平稳。待焊件通过线性工作台或X-Y工作台操纵，液压系统提供向下的焊接力。

14.5.2　垂直往复式FSW

垂直往复式FSW主要原理是利用特制的金属头在焊接处移动产生摩擦热进行焊接。金属头可以是圆柱形、翼形或刀片形，金属头穿过两板连接处以一定振幅在板厚方向往复运动并沿着两片材连接的长度方向移动。

这种机器要求能够实现往复平动，采用曲柄导杆机构。

曲柄导杆机构能够将直线运动转变为转动，或者将转动变为直线运动。将活塞或往复运动的零件直接与带槽的滑叉连接，滑叉通过传动销连接到转动零件上。

采用这种结构，与施加水平载荷并操纵聚合物工件或刀片相配合，可以实现垂直往复式FSW。

14.5.3　Viblade焊接

目前，Viblade焊接已经实现商业化。焊接过程中刀片（钛）和轴肩（PTFE）在两塑料板间运动，同时向下施加载荷。刀片和轴肩的振动频率为200Hz，振幅为1.15～1.3mm。往复运动的刀片产生摩擦热，使连接处的塑料熔融，并在刀片后形成焊缝。

14.6　焊接参数

影响FSW焊接质量的材料和工艺参数有很多，主要包括：

- 金属头的设计。
- 金属头转速。
- 金属头的温度。
- 移动速度。
- 垂直载荷。

- 水平载荷。
- 插入深度。
- 倾斜角。
- 焊接间隙。
- 板材厚度。

对于 Viblade 焊接来说，因为热塑性塑料导热率很低，轴肩产生的热量不足以熔化底部的塑料，需要由刀片产生热量。摩擦热与压力成比例，所以垂直载荷直接影响轴肩和刀片产生的热量。刀片和板材表面的压力由水平载荷以及刀片的穿透程度决定。水平载荷可以由气压或机械提供，轴肩垂直载荷能够避免焊板间隙的扩大（由前进的刀片引起），所以刀片在高压下能够产生足够的热量熔化整个厚度。

参 考 文 献

[1] Thomas WM, Nicholas ED, Needham JC, Murch MG, Temple-Smith P, Dawes CJ: Friction welding. United States Patent 5, 460, 317, October 1995.

[2] Sorensen CD, Nelson TW, Strand S, Johns C, Christensen J: Joining of thermoplastics with friction stir welding. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

[3] Strand SR, Sorensen CD, Nelson TW: Effects of friction stir welding on polymer microstructure. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

[4] Scialpi A, Troughton M, Andrews S, De Filippis LAC: In-line reciprocating friction stir welding of plastics. Joining Plastics—Fügen von Kunststoffen, 1, 2007.

第 15 章　微 波 焊 接

15.1　工艺描述

微波焊接是一种电磁焊接工艺，与射频、激光、感应和红外焊接类似，辐射频率为 2.45GHz。因为大多数的热塑性塑料在这个频率下不会立即产生温升，所以通常在塑料的连接表面安装加热垫圈来吸收微波能量。加热垫圈吸收微波能量后熔化周围的塑料，冷却后完成焊接。当然有一些塑料，像 ABS、PVC、尼龙、PVDF 等分子内含有极性基的材料，可以直接进行微波加热焊接。

材料的微波吸收能力由材料的传导率（σ）、介电常数（ε）、真空介电常数（ε_0）、辐射频率（ω）、介电常数的虚部（ε'）和介电常数的实部（ε''）来决定。介电常数的虚部指的是由于能量耗散的介电损耗，介电常数的实部则表征材料的贮存电能的能力。材料吸收微波能量的能力可以由损耗因数来表示[1]：

$$\tan\delta = (\sigma/\varepsilon_0\varepsilon\omega) = (\varepsilon''/\varepsilon')$$

在微波场中材料的加热正比于 $\tan\delta$，但因为损耗因数与温度和时间有关，很难准确地估计加热量。

微波焊接主要包括五步，具体如下：

1）元件安装：在焊接表面安装自消耗的微波敏感元件。

2）固定：焊接零件固定，保证在焊接过程中焊接零件表面紧密接触。

3）热量产生：微波敏感元件吸收微波辐射产生热量。

4）热量传递和熔融：垫圈将热量传递给塑料，使附近的塑料熔化，由于分子扩散和链缠结，零件紧密接触完成焊接。

5）冷却：停止微波辐射，焊接表面和基体冷却固化。

还可以在焊接过程中或冷却时施加压力，或只在冷却时施加压力，以便得到的热量最大且从焊接接头处挤出的料量最少[1,2]。

微波应用模式有两种：多模式和单模式。多模式应用系统常见于家用微波炉。微波炉中的微波十分复杂，由内部的吸收材料决定。多模式的优点是容积热均一，特别是内部带有搅拌器，但加热时间相对较长。

单模式系统的加热腔有尺寸要求，以便按需要的辐射方向产生波。因此需要确定加热圈的位置使局部温度最大化。

15.2　优缺点

微波焊接是一种新型的焊接技术。微波焊接技术有很多优点：加热时间短，采用容积加热，与材料的热传导无关；可以进行复杂或立体焊接；设备费用少，特别是焊接复杂零件；能耗低并且易拆装。另外由于采用高频焊接，比射频焊接加热时间短。

微波焊接的缺点如下：在连接处需要安装自耗的微波敏感元件，焊接周期增加并且有回

收问题；含有极性基团的材料加热迅速，若对加热速率和加热量没有准确控制，材料易降解[3,4]。

15.3 应用

微波焊接可以进行二维或三维焊接，极大地丰富了设计的自由性和零件的复杂性。目前的商业应用主要用于连接 PVDF 管材和配件[5]。

15.4 材料

分子结构中带有极性基团的材料都能够吸收微波辐射。支化度很高的极性塑料比线性塑料更加适合。非极性塑料需要使用微波吸收元件。

塑料微波焊接中广泛使用的吸收元件材料为聚苯胺（PANI）。和半导体类似，PANI 通过添加酸的水溶液（如 HCl）而具有导电能力。添加稀释酸溶液后，分子结构中产生极性基团，有很多自由移动的电子，使材料具有导电性。焊接过程中产生的热量由导热性决定，如果材料的导热性不高，自由移动的电子很少，产生的热量也就少；如果导热性太高，微波能量会反射而不是吸收，所以也不会产生热量。

PANI 的导电性可以从绝缘体（10^{-10}S/cm）变化到导体（10^{4}S/cm），由加入的酸的比例和加工方法决定。例如，经拉伸的薄膜比未拉伸的薄膜或片材具有更高的导热性。PANI 的导热性还与贮藏过程中的温度有关[1]。

加热圈通常由添加酸的 PANI 的粉料与热塑性塑料通过压模成型。而在压模过程中 PANI 中的酸会蒸发，使添加剂减少。因此加热圈的导热性要比 PANI 的导热性小很多，加热圈所吸收的微波能量也会减少。

15.5 设备

在多模式和单模式系统中，微波都是由磁控管产生的。磁控管由中空圆柱腔体和带有很多叶片的阳极或共鸣腔（见图 15.1）组成。磁控管中间是阴极，由很多带有负电势的加热细丝组成。电磁场与阴极平行，由加热阴极产生电子，电子做螺旋运动撞向阳极。当电子经过共鸣腔体孔洞时，使孔洞内产生共鸣微波，部分微波作为波导，传递微波能量到焊接腔体。

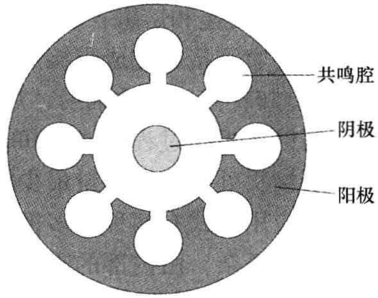


图 15.1 磁控管腔体截面图（来源：英国焊接研究有限公司）。

多模式微波焊接机如图 15.2 所示，焊接压力由与气缸连接的轴传递，轴穿过腔体表面。这个孔容易导致微波能量的泄漏，所以其设计十分关键。

单模式微波焊接系统如图 15.3 所示。功率发生器与三端调节器相连，避免反射波损毁电源。采用调节螺钉调节电源和负载阻抗，并在环行器和调谐器之间安装双功率表监测正向和反射功率。焊接由与调节器相连的双狭缝敷料器完成，与敷料器相连的虚拟载荷将能量转变为热能，采用水冷却。这种单模式系统在敷料器内产生运动微波。为了产生驻波，需将虚拟载荷和一个功率表换为实心板来反射产生的微波。由于单模式系统中的驻波助长了传递波与反射波的干涉作用，微波场强度比运动微波更高。

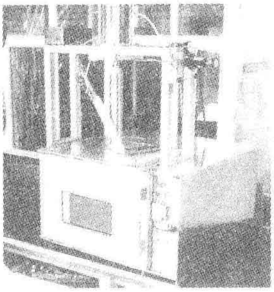


图 15.2 多模式微波焊接机
（来源：英国焊接研究有限公司）。

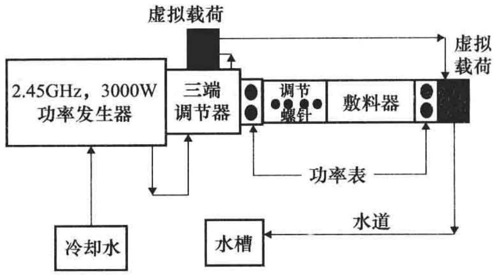


图 15.3 单模式微波焊接机原理图
（来源：参考文献［1］）。

在焊接含有极性分子基团的材料时，通过数值模拟数据采集板控制电压来控制功率输出。压力由电磁阀、气缸和继电器来控制[1-3]。

焊接过程中工件的固定装置要么全反射，要么将微波传递出去，以免在焊接过程中发热。这些固定装置的材料通常为非极性材料，如 PTEF 和 PEEK。

15.6 焊接参数

微波焊接的重要参数是加热时间、功率、焊接压力和焊接元件的导热系数。这些参数影响加热程度和焊接强度。

增加焊接元件中的热传导聚合物数量和增加焊接元件的厚度都能够提高加热速率和焊接表面温度。功率越高，温度越高，加热速率越快，焊接时间越短。微波焊接的加热时间应严格控制，在功率很高的情况下，焊接表面温度可以在 5s 内超过 200℃ （392℉）。含有极性基团的材料（如尼龙），功率太高或加热时间过长容易导致过热和材料降解。

单模式系统中，影响微波吸收的是焊接元件的方向。焊接元件的长度方向与电子运动方向平行时要比垂直时有更高的加热速率，与电子运动方向垂直时会造成漫反射[2,3]。

除了影响焊接强度，焊接元件材料的挤出也影响材料的回收。当焊接完成后，若焊接处有较多的焊接元件材料，则更容易拆开焊缝。由于焊接元件材料被挤出，所以焊接强度大大增加。如果必须考虑拆解和回收，则应确定焊缝中遗留的焊接元件材料的最佳量。再次加热时焊接元件的导热性也会降低[3,6]。

参 考 文 献

［1］ Wu CY，Benatar A：Microwave joining in HDPE using conductive polymeric composites. ANTEC 1992，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Detroit，May 1992.

［2］ Wu CY，Benatar A：Single mode microwave welding of HDPE using conductive polyaniline/HDPE composites. ANTEC 1995，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Boston，May 1995.

［3］ Wu CY，Staicovici S，Benatar A：Single mode microwave welding of nylon 6/6 using conductive polyaniline-films. ANTEC 1996，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Indianapolis，May 1996.

［4］ Siores E，Groombridge P：Microwave guide design and temperature control for joining of thermoplastics. IIW Asian Pacific Welding Congress. Proceedings，58th NZIW Annual Conference and WTIA 43rd National Welding Congress，Auckland，New Zealand，February 1996.

［5］ Dommer M：Using microwaves to weld PVDF pipes and fittings. *Welding Journal*，80（1），January 2001.

［6］ Staicovici S，Wu CY，Benatar A，Bahman Z：Fractal analysis and radiographic inspection of microwave welded HDPE bars. ANTEC 1996，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Indianapolis，May 1996.

第 16 章　溶剂焊接

16.1　工艺描述

溶剂焊接和溶剂粘接通常被认为是相同的过程，它们之间有很多的相似之处，但它们的连接方式是不同的。溶剂焊接采用不含溶解聚合物的溶剂或溶剂混合物在两个热塑性工件之间形成连接接头，而溶剂粘接则利用溶剂或溶剂混合物与表面材料混合来完成焊接。

这两种方法都是利用热塑性塑料吸收溶剂而降低玻璃化转变温度（T_g）的方法。溶剂软化待焊工件，增加了聚合物链的自由移动。溶剂使非交联聚合物链分离，就像被溶解一样。但是交联聚合物链没有被分离，而是增加了链间距离，使聚合物膨胀。当两个被溶剂软化的零件紧密接触时，分子开始接触融合。对于所有的塑料焊接来说，焊接的牢固程度取决于时间、温度以及使聚合物链相互扩散的压力。选用合适的溶剂来降低温度，在室温下就能完成焊接。一段时间后（通常为几天），溶剂就从焊接表面挥发，连接处材料的玻璃化转变温度提高，这样就完成了焊接，焊接处材料一致均匀。溶剂焊接没有增加别的物质，除了有一些残余溶剂。溶剂粘接增加了别的物质，常用于零件配合不好或填隙的情形。

经过溶剂焊接或溶剂粘接的接头只能在装配后短时间内改变位置，并且不能拆卸重新连接。因此，在焊接之前要仔细检查零件的配合部位，保证焊接顺利。模具具有自定位的特点。连接表面应提前用不溶解聚合物的试剂清理并干燥。

两个底面都应该涂抹溶剂，可以手工或自动刷、抹、浸、垫或采用毛细管分配器进行涂抹。若采用溶剂粘接，在进行粘接前两表面都要涂覆溶剂。涂覆溶剂主要使用溶剂粘合剂中的一种或多种溶剂，用溶剂将表面浸湿，使表面开始溶解。

将底面放置一段时间，使溶剂溶解进入聚合物表面，多余的溶剂蒸发。通常的深度为 50 ~ 500um（0. 002 ~ 0. 02in），在焊缝的两表面形成溶剂溶解区（SAZ）。然后，将两底面压紧几秒钟或几分钟，撤去压力，将连接好的零件静置一段时间（几分钟到几天）使溶剂解吸附。溶剂溶解区残余的溶剂将降低连接处的性能。

溶剂的挥发速率取决于它们的沸点。有些溶剂挥发太快，使得焊接表面温度降低而产生冷凝，称为“雾浊”。为了避免产生雾浊，常添加减缓蒸发的溶剂，如二氯甲烷。

使用溶剂粘接 PVC 管材时，有几步注意事项[1]如下：

1）保证管材端面切得平直。

2）管材端面去毛刺和倒角。

3）连接处干燥，并标记焊接深度。

4）使用不溶解聚合物的试剂预清理零件。

5）对两表面涂抹底料。

6）在表面浸湿时，进行溶剂粘接。

7）在管材上涂抹足够的粘接溶剂，使管材插入配件时表面形成小焊珠。将连接处露在外面一段时间，使溶剂扩散，多余的溶剂挥发。

8）将管材插入配件中，配件旋转四分之一圈使粘接溶剂均匀分开，然后保持30～180s。

9）抹掉多余的粘接。

10）将连接处静置至少24h后进行压力试验。

16.2　优缺点

溶剂焊接和溶剂粘接工艺十分简单、廉价，并且连接牢固，密封性好；与机械连接相比，质量更轻；不需要其他零件（节省费用），连接迅速（节省劳动成本）；避免了应力集中。两种焊接工艺得到的焊接接头基本不可见，和粘合剂粘接不同，连接处没有添加别的物质。与其他的焊接技术相比，溶剂焊接和溶剂粘接可以设计各种接头，还可以对大型容器进行不规则连接。溶剂焊接和溶剂粘接没有焊珠，与加热焊和摩擦焊接相比，焊接外观质量更好且不像摩擦焊接那样产生碎屑。

溶剂焊接和溶剂粘接不能用来焊接热固性塑料和高结晶性塑料。与所有热塑性材料的焊接工艺类似，溶剂焊接和溶剂粘接一般用来焊接相容聚合物，但也可以焊接一些不同材料的组合，如 PVC 和丙烯酸树脂或聚碳酸酯[2]。

对焊缝每一侧的溶剂溶解区宽度小于0.5mm 的情况，残余溶剂会减少聚合物的焊接强度。为了降低这种影响，需要长时间的解吸附，使连接处溶剂挥发，这就需要有大量的存货。

如果成型工件有残余应力，那么在焊接时就有开裂的可能。因此在选择焊接位置应避开残余应力大的部位，像注射成型浇口处。在零件焊接前进行退火处理可以减少残余应力，但也会使零件翘曲，配合处变形。最容易应力开裂的聚合物是 PC、PS、丙烯酸树脂、ABS、聚砜（PSO）和聚苯醚（PPO）。溶剂最可能造成应力开裂的是酯类、酮类和芳香烃类聚合物[3,4]。

溶剂焊接要求表面配合良好，夹紧压力合适，因为溶剂薄层不能填充缝隙。溶剂粘合剂粘度比溶剂焊接使用的溶剂混合物粘度大，可以用来填充缝隙。然而当溶剂从焊接处挥发时，会造成明显的皱缩，产生内应力和空洞。

通常溶剂是易挥发的、易燃的、有毒的有机溶液，尽管已经努力地寻找，但目前尚未发现合适的替代物[5]。

16.3　应用

溶剂焊接用于连接玩具或防干扰外罩，如电度表。

溶剂粘接用于连接管材，像铺设管材用 PVC 管和化工厂常用的 ABS 管材。

其他应用还有医疗器械的密封，最终连接表面外观要求较高的场合，如丙烯酸或聚碳酸酯陈列柜或防护手套。

16.4　材料

溶剂焊接和溶剂粘接可以连接大部分无定型塑料和部分结晶性塑料。总的来说聚合物的相对分子质量越低，溶解越容易。聚合物非常容易溶解具有相同极性的溶剂，极性聚合物和极性溶剂，非极性聚合物和非极性溶剂。通常用溶解度参数来表示极性，若聚合物和溶剂溶解度参数相差不到0.5，则表示它们具有很好的相容性。常见的聚合物和溶剂的组合如表16.1所示。如果两种聚合物的溶解度参数都能与溶剂相容，那么这两种材料就比较容易连

接，这一点已由试验证实。采用混合溶剂也可以提高相容性。

表 16.1 溶剂焊接不同塑料时合适的溶剂[6]

塑料	溶剂														
	丙酮	环己酮	N，N-二甲基甲酰胺	醋酸乙酯	二氯乙烷	二氯甲烷	冰醋酸	甲基乙基酮	2-甲氧基乙醇	N-甲基吡咯烷酮	O-二氯代联苯二胺	四氯乙烯	四氢呋喃	甲苯	二甲苯
ABS					■	■		■				■			
丙烯酸类树脂					■	■	■								
醋酸纤维素	■			■				■	■						
聚芳酯	■			■											
聚芳砜			■							■	■				
PC				■			■		■						
PS		■		■		■	■	■	■	■	■			■	■
聚砜		■			■	■		■			■	■		■	■
PVC	■	■							■		■		■		
PPO					■	■									
苯乙烯丙烯腈共聚物	■						■			■	■				
偏二氯乙烯		■	■						■	■					
聚酰胺	蚁酸、苯酚、间苯二酚或甲酚的水溶液或酒精溶液、氯化钙的酒精溶液														

还可以使用许多特有的溶剂粘合剂。包括一些混合溶剂。在粘合剂中，含有一种或多种溶剂。粘合剂易于凝胶化，并且储存时间有限。对于开始凝胶的粘合剂，通过添加少量溶剂并进行混合来还原粘合剂。如果混合不均或者溶剂组分不均衡，则容易造成不一致的焊缝。

16.5 设备

溶剂焊接和溶剂粘接不需要仪器设备，通常用刷子或分配器涂刷溶剂。适当的人身保护设备还是需要的，例如供货商的使用说明和安全数据表的说明。足够的通风设备保证溶剂气体从工作环境中排出。若是产量很大的话，还要考虑有机溶剂的挥发，避免向环境中排放。

在大量的溶剂焊接和溶剂粘接中，可以使用自动装置来涂抹溶剂和装配工件。如自动分配器，简单的可以采用凸轮从动件，复杂的可以采用多轴联动机械手，由人工或自动装配。

16.6 应用方法

涂抹溶剂的方法有很多，像喷雾、辊筒、刷子或擦拭。还有两种常用的方法：毛细管分配和浸沾。

16.6.1 毛细管分配法

这种方法适用于低粘度液体，毛细管的毛细作用使溶剂流过连接表面。主要用于小零件

和长度较短的连接。通常用滴定管或注射器针头来施加溶剂。这种技术要求零件配合紧密，没有可见缝隙，溶剂应沿着整个连接长度均匀施加。

16.6.2　浸蘸法

这种方法把零件浸泡在溶剂内。浸泡过程中应保证只有连接处浸泡，溶剂接触面大会导致连接强度降低，连接速度慢并影响零件外观。可以采用胶条或遮蔽料遮挡住其他区域。零件边缘由别针或线绳支撑，在下面提供溶剂。浸蘸时间由零件厚度决定，通常浸蘸20～30s，然后进行连接。

这种方法的主要缺点是，溶剂盛放在开口容器内，容易挥发气味。

16.7　接头设计

如图16.1所示，溶剂焊接的接头设计有很多。接头的承载能力随连接面积的增加而增加。对于T形连接、角连接和对接连接来说，壁厚限制了连接面积，因此对于这几种连接方式不宜采用溶剂焊接。

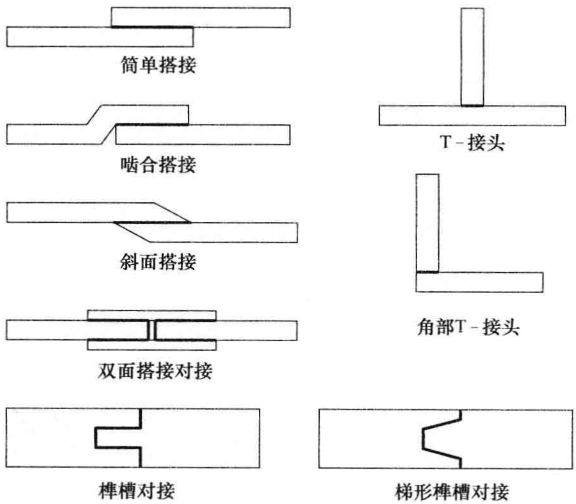


图16.1　溶剂焊接和溶剂粘合接头设计（来源：英国焊接研究有限公司）。

溶剂焊接不适用于需要添充孔隙和不能施加夹紧力的场合，溶剂粘接更为适合。

16.8　焊接参数

溶剂焊接和溶剂粘接都是牢固的连接工艺。溶剂太多或太少都会降低焊接强度。如果溶剂过多，则装配前需要大量的时间来溶解和挥发。涂覆溶剂需要时间使溶剂扩散到聚合物表面，并使多余的溶剂挥发掉。零件应提前预热，保证表面干燥，从而加速溶剂溶解表面。但如果表面温度过高，则会使溶剂在连接前蒸发。

光滑的配合表面会提高连接质量。高的夹紧力和焊接时间的延长也能提高焊接强度，特别是对于配合不好或表面粗糙度高的零件来说。

装配后进行加热或抽真空都可以加速溶剂的解吸附，减少残余溶剂量和连接处强度降低

的程度。显然这会增加加工成本，所以通常在室温和室压下连接。

参考文献

[1] McPherson T: Improve CPVC piping reliability. *Hydrocarbon Processing*, 79 (1), p. 65, 2000.

[2] Yue CY: The structure and strength of solvent welds between dissimilar amorphous thermoplastics. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 8 (1), p. 47, 1988.

[3] Tres P: Assembly techniques for plastics. *Designing Plastic Parts for Assembly*, Reference book (ISBN 1-569-90199-6), Hanser Gardner Publications, Inc., 1995.

[4] *Rosato's Plastics Encyclopedia and Dictionary*, Reference book (ISBN 3- 446-16490-1), Carl Hanser Verlag, 1993.

[5] Desai J, Barry CMF, Mead JL, Staceer RG: Solvent welding of ABS and HIPS: a case study in methylene chloride substitution. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

[6] Warwick CM: Solvent welding. *Handbook of Adhesion*, 2nd Edition, Reference book (ISBN 0-471-80874-1), John Wiley & Sons, 2005.

第 17 章　粘合剂连接

17.1　工艺描述

17.1.1　简介

粘合剂连接是用途最广泛的连接技术，可以连接塑料零件或其他材料（如金属、陶瓷或木材）。连接强度变化范围很广，从仅用于填充空隙或缝的低强度腻子和堵缝化合物，到用于汽车或航空的高强度结构粘合剂都适用。

最简单的工艺是在基体（或被粘物）的表面涂上粘合剂，然后将零件压在一起，粘合剂固化后将两表面连接。

17.1.2　粘合剂连接机理

粘合剂连接时，被粘物和粘合剂之间形成吸引力，吸引力随着被粘物和粘合剂的不同而不同，通常由以下几种力组成：

吸附：这些力由连接表面的颗粒紧密接触产生。颗粒（包括原子或分子）通过弱化、极性、范德瓦尔斯力或化学共价键作用连接。

静电：这些力由相反极性的离子键组成。

扩散：这些力随着粘合剂在连接表面的扩散，由被粘物和粘合剂之间的分子链缠绕产生。

接触界面的吸引力很强，这并不容易理解。事实上许多情况下这些力要比粘合剂或塑料被粘物的粘合力大，连接缺陷易发生在粘合剂或塑料被粘物内部，而不在连接界面处。

另外，经过更大规模微观及宏观表面相互作用（通过腐蚀、表面粗化或摩擦等）后，由于机械联锁和摩擦力，可以增加界面连接强度[1,2]。

17.1.3　表面处理和表面准备的作用

为了使粘合剂粘接良好，被粘物和粘合剂之间应该进行湿润处理。湿润处理是指将液体涂抹在固体表面，使粘合剂表面张力低于被粘物表面张力（或能量）。由于内聚力作用（材料内分子之间相互作用），液体的表面面积最小。当高表面张力的液滴滴在低表面张力的被粘物上时，液滴形状更趋于球形；低表面张力的液滴在固体表面形状趋向扁平，因为固体表面能量很大，所以使液体表面接触面积变大。有机溶剂表面张力比水的表面张力低，湿润效果比水更好。如果粘合剂的表面张力太高，被粘物表面易形成圆形液滴，就像打蜡汽车上的水滴一样，不能润湿表面（见图 17.1）。不同材料表面张力/表面能量表征值见表 17.1。当被粘物和液滴接触角小于 60°时，表面湿润性良好；当接触角大于 90°时，表面湿润性差。被粘物的表面能量和材料的化学成分有关，选用合适的表面处理方法可以弥补湿润性的不足[2-5]。

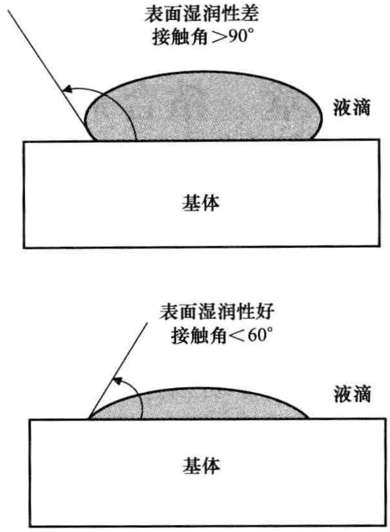


图 17.1 表面湿润性（来源：英国焊接研究有限公司）。

表 17.1 不同材料表面张力/表面能量表征值

材　　料	表面张力（能量）	
	dyn/cm	mJ/m²
氟乙烯-丙烯（FEP）	16	0.016
聚四氟乙烯（PTFE）	18	0.018
硅树脂	24	0.024
乙丙橡胶	28	0.028
聚乙烯	31	0.031
聚苯乙烯	33	0.033
丁苯橡胶	33	0.033
ABS	35	0.035
丙烯腈/丁二烯橡胶	37	0.037
聚亚苯基硫醚（PPS）	38	0.038
PMMA	39	0.039
PVC	39	0.039
聚酰亚胺	40	0.040
聚砜	41	0.041
聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）	43	0.043
纤维素	45	0.045
PA	46	0.046
PC	46	0.046
聚甲醛	47	0.047
环氧基树脂	47	0.047
水	73	0.073
铝	约 500	约 0.500
铜	约 1000	约 1.000

根据粘合剂连接强度边界层理论，吸收的粘合剂高分子所形成的界面边界层的分子特性与原粘合剂的分子特性不同。高强度的连接，界面层能承受外部应力；若连接强度不足，则是因为边界中含有空气、杂质或被粘物表面化学层弱。边界层中含有的粘性分子基团的取向域称为附着位点，附着位点越多，强度越大。相反，连接环境恶化导致附着位点被破坏[1,2]。

因为粘合剂连接是一种表面化学连接过程，连接的好坏取决于被粘物表面的前处理和对粘合剂的处理、涂抹以及固化方式。为了获得最佳的连接强度，表面应进行合适的前处理。被粘物表面应进行粗化处理，以增加表面面积和产生机械联锁点，同时要防止污染，以免影响粘着力[2]。

17.2　优缺点

17.2.1　优点

粘合剂连接是一种有效的、经济的、牢固的连接方式，可以用于塑料之间或塑料与其他材料（如金属、木材、陶瓷等）之间的连接。粘合剂连接是一种用途最广泛的连接方式，可以适用于几乎所有的塑料，不像焊接和机械固定要受材料特性、用途和几何形状尺寸的限制。粘合剂可以用于连接薄膜、板材、织物、颗粒及具有不规则外形和物理结构的基体，像复合板、航天应用的蜂窝结构、层压木梁、砂轮、砂纸、复合膜、纸板箱和植绒壁纸等都可以用粘合剂粘接。粘合剂还可以粘接难以固定的材料，像在刚性基体表面粘接薄膜或织物。一些粘合剂固化前具有胶粘性，有助于固定元件直至完成固化。粘合剂连接是一种永久的连接方法，可以实现连续均匀的密封，通常能防止气体和液体的渗透。粘合剂连接十分美观，看不到固定零件，粘合剂覆盖了整个连接表面，应力分布在整个区域。另外，粘合剂连接具有很高的抗疲劳强度，通常比其他连接方法高[1-3,6]。

粘合剂具有很多物理特性，可以根据不同的材料选择合适的粘合剂，连接特性（如膨胀与收缩）都可以根据使用要求调整。粘合剂通常是不导电材料，能够阻止阴极作用以防止金属腐蚀。粘合剂质量很轻（未填充的粘合剂密度为 1.1 ~ 1.2g/cm^3 或 0.007lb/in^3），且涂层很薄（0.05 ~ 0.1mm 或 0.002 ~ 0.04in），没有增加零件质量。粘合剂可以自动涂覆，并且可以增扩机械装配[1,6,7]。

相比机械固定来说，粘合剂连接具有很多优点，如质量轻便、无需其他元件、加工过程节省劳力和成本低等。在机械固定中，零件上必须加工孔，使塑料零件产生应力集中，易开裂变形。采用机械固定方法连接陶瓷或玻璃时容易连接失败。在机械固定中施加的载荷集中作用在固定处，而粘合剂连接应力均匀分布在整个连接面积上，不会像螺栓铆钉那样导致形状不规则。此外，采用机械固定的零件还必须考虑凸台、孔的设计，影响了产品的外观。粘合剂连接可以在不能有凸台的地方对形状不规则的零件进行连接[1,3,8]。

与焊接相比，粘合剂可以连接热塑性塑料和热固性塑料、金属、玻璃和其他材料。不同的热塑性塑料用焊接连接时，材料必须是化学兼容的且要具有相似的熔融特性，但粘合剂连接可以连接任何塑料。超声波焊接对零件尺寸有严格要求，粘合剂连接设计灵活，包括不规则连接线的零件。焊接还需要很多昂贵设备和加工工具，而粘合剂连接设备十分简单[3]。

和溶剂连接相比，粘合剂连接具有很多优点。溶剂连接不能对热固性塑料、金属和玻璃

进行连接，也不能对带有较大缝隙的零件连接，和粘合剂连接相比，更易造成应力开裂[3]。

17.2.2 缺点

粘合剂连接的缺点如下：有些粘合剂的货架期和有效期有限制；要求严格的表面前处理；固化时间长；粘合剂连接后表面很脏，需要继续清理，且固化时释放出有毒气体；为了提高连接强度，需要很大的连接面积，而且不容易检查连接的完整性；在固化前或固化过程中，粘合剂和聚合物连接处易发生应力开裂[2]。

粘合剂连接具有明确的温度使用范围，温度太高易发生氧化分解，温度太低则粘合剂变脆。粘合剂连接的零件易挥发，易燃烧，现在粘合剂已经从溶剂基系统变为水基和固体基系统，所以这个问题已经解决。

若单独考虑，粘合剂和涂覆工具都十分昂贵，而且在不破坏零件的情况下很难拆卸[1,2,8]。

17.3 应用

粘合剂可以用来对不同的塑料与聚合物或者金属、木材、织物、薄膜、纸板进行连接。只要基质表面清洁，大部分材料都可以连接，不论相同还是不相同。对难以粘接的材料（如表面能量低的材料，像 PE、PP 或 PTFE）进行前处理就会明显地增加其粘接性。基质可以是任何形式的，包括块料、薄膜、板材、颗粒、复合层结构或者蜂窝结构。

根据制品的不同，粘合剂的选择也不同：

化妆品容器：许多聚合物材料都可以粘接制作容器，粘合剂连接是最有效且经济美观的方法。

照明：粘合剂常用来加工塑料照明结构，包括低功率系统（如 LED、LEP 和电荧光系统）。

光学元件：高折射率的聚合物（如 PMMA、PC 和尼龙）应用越来越多，像眼镜、相机和光电产品等，促进了紫外线固化粘合剂的发展，减少了粘接零件的位移和偏差。

运动器材：所有的运动器材都含有不同程度的粘合剂，乒乓球拍表面的橡胶，雪板的复杂结构以及其他相关的板（冲浪、滑雪、帆板、帆船）等。许多高质量的自行车（山地或公路自行车）都是用粘合剂连接的金属和聚合物材料复合结构。

办公设施：粘合剂用于办公电子元件中，例如在电路板上粘贴元件，家具上粘贴织物等。

玩具：粘合剂粘接天然聚合物材料（木材或皮革）或合成热固性/热塑性材料是一种内在的装配方法，特别是在连接不同的材料并且避免使用紧固件的场合，使用粘合剂十分安全。

结构粘合剂常用于航空、汽车、运动和电器行业的结构粘接。粘合剂还用于医疗器械，如矫正支架、助听器、传感器、输液设备和输液泵、电子元器件、导尿管和固定不锈钢针头等。粘合剂还可以用于螺纹锁紧、螺纹密封、挡圈和垫圈等[9,10]。

汽车行业的应用包括粘接保险杠、后视镜和风窗玻璃。此外，汽车内饰物几乎是用双面胶条、聚氨酯以及氰基丙烯酸盐等粘合剂完成的。使用粘合剂具有避免开孔、粘接速度快、公差补偿和美观等特点[10-12]。

对于工程人员来说，粘接聚合物复合材料（纤维增强型材料和蜂窝夹层结构）是一个难题。尽管这些材料具有质轻、耐用等特点，但其内在结构（各向异性的叠层）使这种材料很难粘接。也可以使用机械连接的方式，但各向异性的叠层结构对瑕疵或破坏都很敏感（如孔容易导致局部应力集中和整体性能的下降）。最有效的方式是粘合剂连接，其载荷作用面积很大。这方面有许多成功的例子，像连接复合物管材、将钢材船体与上部复合结构连接、航空工业和汽车行业中叠层结构的粘接。在上述的例子中，根据不同的材料和工艺，选择不同的接头设计可获得有效的连接[11]。

从1950年开始，粘合剂作为一种替代缝合和固定的工艺大量在制鞋行业使用，实际上有很多地方是必须要使用粘合剂的（跑鞋等）。主要用皮革、帆布、纺织物尼龙和PVC来加工鞋帮，用皮革、橡胶、EVA、PVC和聚氨酯来加工鞋底。根据材料的组合和粘接的位置来选择，粘合剂的种类有很多，主要分为橡胶、热熔体和聚氨酯，具体见表17.2[11]。

表17.2　制鞋业所用粘合剂

鞋子连接区域	粘　合　剂	鞋子连接区域	粘　合　剂
装配	接合剂（橡胶粘合剂）	楦腰和软垫的粘接	水基聚氨酯
鞋跟覆盖物	聚氨酯	上提附件	聚酯热熔体
鞋底的鞋跟附着物	聚酯热熔体	鞋垫衬层粘接	聚氯丁橡胶
鞋包头粘接	聚酰胺热熔体	上部到鞋底的粘接	聚氨酯，聚氯丁橡胶

热塑性粘合剂的创新应用是音乐器材，像吉他（见图17.2），木质结构被塑料所替代。用发泡聚碳酸酯板材做共鸣板，和模制聚氨酯琴身粘接，需要硬度高的地方（像琴颈处）采用热塑性塑料碳复合物。由于聚合物表面敏感性不同，对所有的粘接环氧粘合剂都采取室温固化。

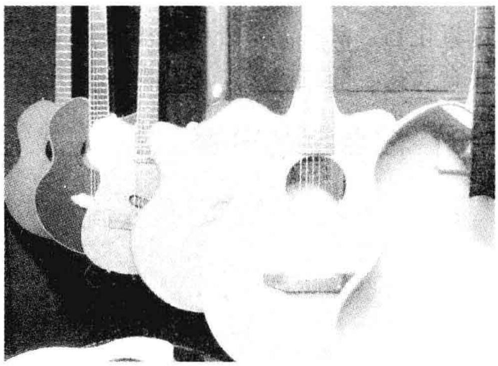


图17.2　全聚合物材料制作的吉他，用粘合剂装配（来源：Cool Acoustics）。

17.4　热固性粘合剂的固化

连接强度与固化时间和方法密切相关。对于热固性聚合物来说，固化是指发生化学交联，但粘合剂的固化概念更广。粘合剂的固化通常是指聚合物从液体到固体（胶体、橡胶和硬塑料）流变状态的变化，不考虑物理或化学方法所引起的变化。粘合剂从液态到固态的转变方法由粘合剂的类型决定。对于热塑性粘合剂来说，固化是指熔融聚合物冷却时的理化过程，而其他的固化过程包括化学反应。热固性粘合剂通过化学交联冷却，其他的粘合剂（如氰基丙烯酸酯）通过液体单体的聚合固化[1,2]。

监测热固性粘合剂固化的方法很多，包括热力分析、热重分析、差分扫描量热分析和扭辫分析。图17.3描述了热固性聚合物固化过程中的形态特征。例如，液态环氧粘合剂通过聚氨基阴离子交联固化。当混合物温度下降到结晶温度（T_{CM}）或玻璃态转化温度（T_{gm}）时，粘合剂固化缓慢或根本不发生。温度大于T_g时，混合物成液态，一段时间内发生交联。

通常等温固化的温度（T_A）低于玻璃态转化温度，液体先成胶体，然后是橡胶态，最后是玻璃态。对于结构粘合剂来说，玻璃态是最佳的固化状态，此时交联程度最大。如果等温固化温度（T_R）高于玻璃态转化温度，只有胶体能够变成最终的橡胶态，而不能达到玻璃态。如果固化温度大于粘合剂降解温度（T_u），聚合物开始降解，交联程度降低。从理论上讲，每种热固性粘合剂都有自己的温度特性，但大多数粘合剂的固化特性尚不清楚[1]。

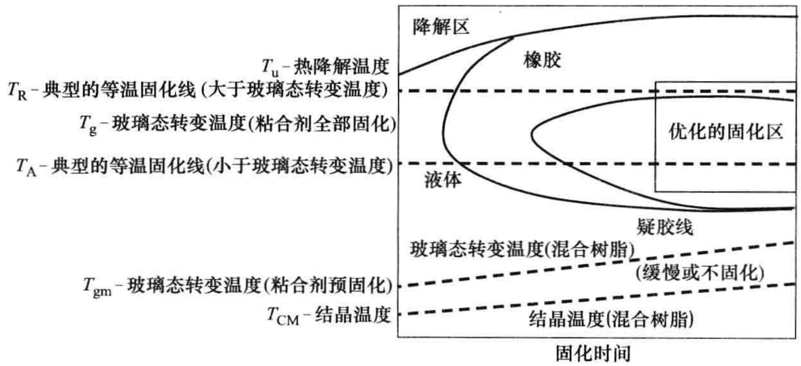


图 17.3 热固性塑料固化流变相态图（来源：英国焊接研究有限公司）。

有的粘合剂在高温下固化，在聚合交联前还需要准备固化剂或引发剂。许多粘合剂通过和弱基或阴离子基团（水、胺、酐、氨基化合物）反应固化。一些粘合剂固化需要引发剂，像过氧化物、氧气、紫外线或电子束来产生聚合反应链所需的自由基，其他的粘合剂固化则需要金属盐、酸或硫黄。固化时间从几秒到几天不等[2]。

17.5 粘合剂的分类

起初，粘合剂的分类很混乱，主要是根据材料的描述方法来划分的，分类依据如下[2]：

化学类型。

物理形态。

固化机理。

功能。

17.5.1 化学类型

粘合剂材料可以分为三类：天然聚合物混合物，无机材料，极性聚合物材料（热塑性塑料、热固性塑料、弹性体）。

按照这种分类方法，许多化学物可以分类如下：

天然聚合物——淀粉、糊精、蛋白质、天然橡胶等。

无机材料——硅酮、硅酸盐等。

合成聚合物——环氧树脂、丙烯酸树脂、聚氨酯等。

17.5.2 物理形态

粘合剂的物理形态包括液体、糊状、薄膜和泡沫。物理形态不同，粘合剂性质也不同，

特别是一些液态或糊状的热敏粘合剂。粘合剂都有固化能力，根据需要固化的组分数量，可以分为双组分系统和单组分系统。

一种有趣的物理形态叫触变，剪切作用时（涂覆或摊开）为低粘度液体，没有剪切作用时是胶状。触变系统应用十分广泛，其静置时在重力作用下不流动。

粘合剂可以是水基（使用表面活性剂使聚合物分散稳定为小颗粒）、溶剂基或完全固体基。

17.5.3　固化机理

根据固化机理，粘合剂可以分为以下几类：

化学反应类——双组分系统通常在室温下固化，如环氧树脂、增韧丙烯酸树脂等。

水分固化类——单组分系统，如聚碳酸酯、硅酮等。

厌氧类——在没有空气的环境下固化，如厌氧丙烯酸树脂。

热熔体类——尼龙（PA）基粘合剂，需加热熔融变为液体。

光固化类——固化需要紫外线或近紫外线（蓝色）光能，如紫外线固化丙烯酸树脂。

热固化类——需加热，如单组分环氧树脂粘合剂在温度高于120℃（248℉）时有效固化。

压力敏感类——不是严格意义的固化，因为未改变粘合剂的物理形态，但压力能保证粘合剂将被粘物表层湿润，提高粘接强度。

17.5.4　功能

根据功能分类，粘合剂可以分类如下：保持粘合剂，如封口胶条保持元件接触一段时间；速溶粘合剂，能够在几秒内固化；结构粘合剂，至少可以保持50%的原始零件强度；单组分粘合剂，如橡胶粘合剂；双组分粘合剂，如环氧树脂[2,5]。

17.6　粘合剂的种类

市场上，粘合剂根据聚合物的组成和化学类型分类，主要的类型如下所述。

17.6.1　丙烯酸树脂

丙烯酸酯粘合剂是丙烯酸酯的衍生物，通常含有长链或短链酯取代基或氰基，是一种单体和预聚物的混合物。长链的丙烯酸酯十分柔软，如甲基丙烯酸丁酯；而甲基丙烯酸甲酯碳链很短，具有很高的强度和模量。粘合剂的柔韧性变化范围可以通过混合短链长链聚合物来获得。根据化学组成的不同，丙烯酸酯可以进一步分类如下：

结构甲基丙烯酸酯；

第二代或反应丙烯酸酯；

氰基丙烯酸盐；

光固化丙烯酸酯；

厌氧丙烯酸酯；

增韧或静混丙烯酸酯。

取代基丙烯酸酯可以在几秒内发生反应并固化，如氰基丙烯酸盐。其他的丙烯酸酯可以

溶解油脂污染表面，如增韧丙烯酸酯。和其他粘合剂（如环氧树脂）相比，它们对被粘物表面的预处理不敏感[13]。

丙烯酸酯通过自由基团或阴离子聚合作用固化。采用过氧化氢、含氧化合物或紫外线（UV）引发自由基团聚合、链反应。采用过氧化氢引发剂聚合，需要提高丙烯酸酯的温度（60～100℃，即140～212℉），保持一定的聚合速率，温度低时还应加入催化剂。催化剂（如还原剂）引起过氧化氢反应，同时催化剂（叔胺、多价金属盐）能增加聚合速率。丙烯酸酯聚合会导致粘合剂固化时皱缩。为了避免固化时应力过大引起皱缩，聚合丙烯酸酯通常溶解在丙烯酸单体内，由于粘度很大，可以减少皱缩。如果固化前产生了少量的多功能丙烯酸酯衍生物，聚合过程中还会发生交联反应[13]。

一旦引发，便开始进行聚合作用，在玻璃态转化温度形成高相对分子质量的粘合剂，与固化温度无关。聚合丙烯酸酯的抗温度性由固化前聚合物和单体的状态而不是固化条件来决定。一些体系的最高操作温度通常为105℃（221℉），即聚甲基丙烯酸甲酯的玻璃态转化温度。增加高温作用时间，会引起体系的热解聚。丙烯酸酯可以设计成更耐高温的，最高可超过149℃（300℉）。这种体系常和环氧树脂一起使用[13,14]。

17.6.1.1 结构丙烯酸酯

结构丙烯酸酯粘合剂由溶解在甲基丙烯酸甲酯和其他单体内的弹性体与增韧材料组成。加入过氧化氢后，分解为自由基团并开始固化，聚合作用在室温状态下发生。甲基丙烯酸酯的固化速率范围很广，具有良好的低温抗冲击性能。可以采用不同的材料获得高强度粘接，特别是塑料。自发泡工艺具有良好的孔隙填充性，并且具有和未发泡材料相同的强度。甲基丙烯酸酯可以通过加工回收塑料零件获得，不需要进行分离处理。加工过程中的塑料混合物和未添加粘合剂的塑料具有相似的力学特性[12]。

优点和缺点：固化快，塑料连接强度高，并且可以回收再利用；但是，低温性能差，有些聚合物容易应力开裂。

17.6.1.2 第二代丙烯酸酯

第二代丙烯酸酯，又称反应或非混合丙烯酸酯，含有溶解的聚合物以减少皱缩，增加韧性。采用自由基机理固化，固化迅速（室温下短于2min）。第二代丙烯酸酯是双组分粘合剂，不需要提前混合。被粘物表面应涂覆粘合剂和催化剂（通常被认为是催化剂），零件连接时分散均匀。连接间隙小于0.5mm（0.02in）时分散混合粘合剂，大于0.5mm时应该预混粘合剂[13,14]。

通常这种体系在2min左右可以建立支撑强度，4～24h内可以完成连接。催化剂只是聚合物树脂的一种触媒，催化剂和树脂的比例不重要。但固体催化剂则不同，过多的催化剂积聚在一起，阻碍粘合剂和被粘物紧密粘接。因为聚合反应首先发生在催化剂和被粘物的界面，固化的深度受到限制，通常从界面算起最大的固化深度为0.76mm（0.03in）[3]。

树脂基非混合丙烯酸酯粘合剂还可以采用加热固化。通常加热固化周期是在149℃（300℉）下10min。加热固化可以增加连接强度，缩短固化时间，但加热会导致树脂粘度降低，使粘合剂从孔隙中流出[2]。

优点和缺点：不需混合，固化迅速，塑料连接效果好，室温固化且提高温度可以缩短固化时间；但是，对于对溶剂敏感的塑料来说，起相反作用（应力开裂、斑纹等），未固化时气味刺鼻，固化层深度有限制。

17.6.1.3　氰基丙烯酸盐

氰基丙烯酸盐是无色的单组分室温固化粘合剂，适用于不同粘度，从像水一样的液体到触变胶体。当挤压两表面之间的薄膜时，氰基丙烯酸盐迅速固化形成对大部分被粘物（塑料、金属、橡胶、.木材、树脂等）粘接性能良好的硬塑料[2,3]。

高反应性氰基丙烯酸盐，如甲基或乙基氰基丙烯酸盐，通过阴离子聚合在室温下固化，以水或胺基作为触媒。通常被粘物表面吸附足够的水来催化聚合，橡胶需要大约30s，塑料或金属需要1~2min。粘度越低，所需要的固定时间越长。普通表面的固化速度大于酸性表面。氰基丙烯酸盐固化迅速，减少了夹具的使用。氰基丙烯酸盐的连接强度通常大于母体材料，特别是对薄塑料基体效果更好[1,3,7,14]。

通常氰基丙烯酸盐易形成脆性连接，具有很高的剪切拉伸应力，在低湿度环境下可以承受-54~82℃（-65~180℉）的温度变化，其质量可以在室内保持许多年。在户外使用时，根据基质不同，降解程度也不同，而溶剂（水、丙酮、碱性溶液）在恶劣温度和气候下使用都会导致连接强度降低而失败。通常对于橡胶基和其他柔软基体来说，乙基氰基丙烯酸盐连接更牢固持久；对于硬质塑料和金属来说，甲基氰基丙烯酸盐连接强度更高[1,3,7,14]。

尽管氰基丙烯酸盐粘合剂不需要添加催化剂，但催化剂仍可提高固化速率。连接层越薄，固化越快。缝隙越厚（0.5mm，即0.02in），要求氰基丙烯酸盐的粘度越大，还需要使用催化剂提高固化速率。在连接前表面应涂抹胺基催化剂。溶剂挥发后（通常是10~60s），连接表面涂抹粘合剂，催化剂在溶剂挥发后1min~72h内有效。苯乙基-乙醇胺是氰基丙烯酸盐粘合剂常用的催化剂，但缩短了连接寿命且不能用于大缝隙连接。其他的催化剂喷在氰基丙烯酸盐粘合剂表面使其固化，这种方法主要用于电气装配中连接导线和小型元件[1,3,7]。

在被粘物表面涂抹底料后，氰基丙烯酸盐粘合剂就可以来连接难粘接塑料（如含氟聚合物、缩醛树脂和聚烯烃）了。在很薄的薄膜涂抹的底料或粘接活性剂，其化学结构具有很强的粘接特性（表面张力、偶极作用）。底料增加了粘附性，提高了剪切、剥落、拉伸强度。底料溶剂挥发后，涂抹粘合剂，根据塑料种类不同，连接强度最多可以提高20倍。底料在溶剂挥发4min~1h内有效[1,3,5,7]。

可以改变氰基丙烯酸盐粘合剂的组成以获得特殊的性质。加入橡胶可以提高剥落强度和冲击韧性。耐温氰基丙烯酸盐粘合剂在121℃（250℉）的环境下还能保持连接强度几千小时。当通用氰基丙烯酸盐粘合剂挥发与空气中的水分反应时，制品上会产生“喷霜”或“结霜”现象，可以在低压条件下采用“轻气味”、“不喷霜”的氰基丙烯酸盐粘合剂避免这种现象的产生[3,7]。

聚乙烯或金属容器中未固化的粘合剂货架寿命是1年左右；冷藏粘合剂时，应注意湿润环境和紫外线都会减少粘合剂的货架寿命。

连接物的寿命低于5年。在处理粘合剂时有一些特殊的注意事项，咨询生产厂家可以了解详细信息[1]。

优点和缺点：氰基丙烯酸盐粘合剂配方中不含溶剂，自动涂料，固化速度快，适用于不同粘度，对于短期（小于29天）医疗设施可达Ⅵ级柔度；大部分氰基丙烯酸盐粘合剂是单组分系统，室温下固化迅速，剪切拉伸强度也很高。但是其连接处呈脆性，固化缝隙有限制，剥落强度和耐温性很低，粘接皮肤。有些聚合物使用氰基丙烯酸盐粘合剂时会产生应力开裂和喷霜现象[3,7]。

17.6.1.4 光固化丙烯酸酯

光固化丙烯酸酯（包括氰基丙烯酸盐）是一种丙烯酸单体、低聚物和聚合物的混合物，在一定波长和强度的紫外线照射下，粘合剂开始聚合。光固化丙烯酸酯粘合剂是一种单组分、无溶剂的粘合剂，粘度范围很广，包括从50cP（$1cP = 10^{-3}Pa \cdot s$）至触变胶体。连接前在粘合剂中加入光敏引发剂，经紫外线引发分解产生自由基，从而引发丙烯酸酯基团聚合产生热固性聚合物。固化时间为2~60s，固化深度高达13mm（0.5in）。固化粘合剂包括从硬质、玻璃质材料到柔软的弹性体[7,15]。

在空气中固化时，聚合作用前自由基和氧气反应，使得固化不完全，表面发粘。可以通过提高光强度或改变光的波长来减少氧化。此外，还可以用氮气去除粘合剂表面的氧气[7]。

优点和缺点：光固化丙烯酸酯粘合剂可以按照需要固化，抗环境能力强，容易自动涂料，连接处干净，Ⅵ级柔度（仅对某些医疗类零件），快速定型，可以对不同材料、大孔隙情形进行连接，固化成型过程中不产生挥发物。但是其固化过程中发生氧化（表面发粘），需要光源发生设备，照射产生的臭氧需要通风。基质中至少有一个是透明的，使光可以到达连接表面。光固化丙烯酸酯粘合剂广泛用于乙烯基和聚碳酸酯材料的连接[7]。

17.6.1.5 厌氧丙烯酸酯粘合剂

厌氧丙烯酸酯粘合剂是由二甲基丙烯酸甲酯单体组成的单组分粘合剂（亚烃基丙二醇、丙烯酸酯或甲基丙烯酸酯），在没有空气的条件下固化。与其他丙烯酸酯相比，厌氧丙烯酸酯粘合剂毒性很小、气味不浓烈，无害，且不腐蚀金属。厌氧丙烯酸酯粘合剂储藏在不灌满的聚乙烯容器中，这样空气接触表面相对容积的比值很高。粘合剂的粘度范围很广，从四到几百万厘泊，在架寿命超过一年，受容器内的空气影响。厌氧丙烯酸酯粘合剂可以填充缝隙的尺寸为0.025~1mm（0.001~0.04in）[1,2,14]。

厌氧丙烯酸酯粘合剂主要用于结构连接，像金属、玻璃，在较小程度上用于连接木材和塑料（热塑性塑料和热固性塑料）等。催化剂涂在连接表面的单面或双面，然后涂粘合剂。催化剂决定固化速度，固化时间从小于30s到大于30min不等。尽管不是经常采用，但可以通过加热替代催化剂[1,15]。

厌氧丙烯酸酯粘合剂防水、防有机溶剂、防气候变化和耐高温，最高200℃（392℉）[1,14]。

优点和缺点：厌氧丙烯酸酯粘合剂可以按需要固化，气味小，单组分室温固化，连接持久。但是，其固化缝隙大小有限，不适用于多孔表面和某些热塑性塑料。

17.6.2 环氧树脂

环氧树脂粘合剂是指分子结构中含有环氧基团（也叫环氧酯）的聚合物。大部分环氧树脂粘合剂都含有两链端环氧酯基团，有的粘合剂含有更多的基团。环氧树脂粘合剂通常成液态或熔融温度很低的固态，通常含有添加剂，如加速剂、粘度调节剂、填料、色素和柔性剂，改变材料特性。柔性剂通过减小弹性模量降低了高局部应力敏感性。对于复合材料来说，环氧树脂是常用的粘合剂，具有连接强度高、牢固耐用、环境稳定性好的特点[2,3,5,13]。

根据环氧树脂的不同，固化可以在室温或更高温度下进行。大部分环氧树脂的固化通过胺或酸酐基团（不常见）与环氧酯基集团的附加反应产生一种交联结构，有些环氧树脂聚合作用发生在强有机基质上或酸基上（不常见）。双组分的环氧树脂固化前必须与当量的胺

或酐基混合，在混合物中加入加速剂或者提高温度都可以提高固化速率。后固化是指未完全固化的材料置于大于或等于零件的最高使用温度，来获得良好的结构特性的方法。后固化能够减小应力，提高尺寸稳定性，减小零件中粘合剂的挥发性[3,5,13]。

优点和缺点：环氧树脂粘合剂连接级别高，基质范围广，连接强度大，形式和特性变化范围广，具有良好的韧性、抗环境性。此外，加热可以加速固化，环氧树脂可以增加固化深度。但是，其双组分系统需要混合，单组分系统需要加热或光照，使用寿命有限（混合的间歇增加了零件表面粘合剂的粘度）、固化速率很低。有些情况下，大体积混合粘合剂会增加散热量，引起降解和炭化[3]。

17.6.2.1　双组分室温固化环氧树脂

双组分室温固化环氧树脂粘合剂由环氧树脂单体和脂肪族胺固化剂组成。它们分开使用（像纯净的液体或粘度变化的糊状物，形态从触变流体到腻子），未混合时具有很长的货架寿命。室温固化前应先进行混合，使用寿命从几分钟到几小时不等。对于有些零件来说，固化时间为几分钟（电子元件中使用的快速固化环氧树脂）。对于结构上的应用来说，固化时间通常为8～12h，2～7天才能完全连接。室温固化材料通常是后固化的，后固化条件为100℃（212℉）下1h或60℃（140℉）下4～6h。快速固化环氧树脂强度很低，特别是在温度高于50℃（122℉）时，并且耐溶剂性很差。这些通常不能通过后固化改善[13,14]。

室温固化环氧树脂连接易脆性损坏，剪切强度高，剥落强度低。耐温度性最高可达玻璃态转化温度50℃～150℃（122℉～221℉），由固化剂、固化温度和后固化工艺决定[13,14]。

17.6.2.2　双组分加热固化环氧树脂

加热固化环氧树脂是双组分系统，采用较少的胺基底料作为固化剂，反应活性小，需要加热以提高温度。加热固化环氧树脂的使用寿命大于室温固化环氧树脂，从两小时到几天不等。固化温度由固化剂决定：使用脂肪族胺固化剂时温度为120℃（248℉），使用芳香族胺固化剂时温度为160℃（320℉），使用酐类固化剂时温度为250℃（482℉）[13,14]。

通常加热固化环氧树脂比室温固化环氧树脂具有更高的抗溶剂性和更好的力学性能。固化材料通常很硬，弹性模量很高，玻璃态转化温度为100～200℃（212～392℉）。由于剥落强度很低，这种非增韧材料很少用于热膨胀系数（CTE）不同的材料。加入增韧剂或软化剂可以提高剥落强度，降低玻璃态转化温度，增加低温抗性，但减小了升温抗性[13,14]。

固化前在粘合剂系统中加入半相容体系橡胶可以提高环氧树脂粘合剂连接韧性。固化过程中，交联环氧树脂改性橡胶颗粒在轻度软化的玻璃基上分散。橡胶增韧环氧树脂的耐温性减少至120～160℃（248～320℉），通常在航空工业上使用[3,13,14]。

17.6.2.3　单组分固体环氧树脂

低熔融温度的环氧树脂聚合物和高温固化剂或催化剂（如双氰胺）结合形成单组分固体环氧树脂。制备这种粘合剂时必须使熔体快速冷却，形成铸棒，然后磨成粉。固体环氧树脂固化温度很高（177℃，即351℉），可以在室温长期保存；在室温下固化的粘合剂需要冷藏。固化后的连接强度很高，玻璃态转化温度也很高并具有耐温性。然而由于粘合剂系统不能软化，故其剥落强度很低[13,14]。

17.6.2.4　环氧树脂膜

环氧树脂膜是在防粘纸表面涂覆环氧树脂薄膜和高温固化剂形成的。薄膜中还可以加入增韧软化剂。固化前可以将编织的布料、短垫或未取向的纤维加入薄膜中以支撑薄膜，并在

粘接过程中控制粘合剂的流动和薄膜的厚度。常使用聚烯烃、聚酰胺和玻璃纤维。编织布料纤维会使粘合剂连接的耐环境性降低。未取向的垫纤维在连接时容易移动，在控制薄膜厚度时不如编织布料效果好。薄膜可以在 -18℃（0℉）储藏[13,14]。

在连接时，薄膜被剪裁至合适的形状贴在一个被粘物上，然后取走防粘纸，再将薄膜压在另一个被粘物上。通常在 121 ~ 177℃（250 ~ 351℉）加热 0.5 ~ 1h 固化。连接的耐温性最大为 118 ~ 178℃（244 ~ 352℉），由环氧树脂的种类和薄膜中的增韧固化剂决定。通常连接质脆且剥落强度低。由于连接结构强度高，环氧树脂膜应用于航空工业；因其质轻操纵方便，还用在叠层结构中[13,14]。

17.6.3 弹性体粘合剂

弹性体粘合剂可以分为不同的几组，包括橡胶基、接触剂、聚氨酯、硅酮、多硫化物，以及压敏粘合剂[2]。

橡胶基系统（天然的和合成的、高相对分子质量橡胶或弹性体）既能溶解于碳氢化合物，又能溶解于氯化烃溶剂，和玻璃状粘合剂相比，其剪切强度低，剥落强度高。当连接要求高剥落强度时，采用橡胶基粘合剂，如连接大的柔性板到刚性复合板，或作为接触粘合剂将装饰膜粘接到外板（无需压力）。接触粘合剂涂在被粘物表面，使溶剂快速挥发，表面固化。不饱和弹性体，如天然橡胶和氯丁橡胶是通过橡胶大分子的交联、硫化作用固化的，通常由催化剂引发自由基机理或硫黄交联作用完成。交联橡胶粘合剂能够提高剪切强度和耐蠕变性，但降低剥落强度。弹性粘合剂连接的耐温性、耐溶剂性和耐环境性有限，特别是在粘合剂未交联的时候。

其他弹性体粘合剂通过化学交联固化，通常利用空气中的水分，也可以实现双组分系统。压敏系统大多数以丙烯酸酯、橡胶和硅酮为基质[2,13,14]。

17.6.3.1 接触粘合剂

弹性体包括天然橡胶、丁基橡胶、丁腈橡胶、SBR 和氯丁橡胶，广泛使用接触粘合剂。这些粘合剂通常含有添加剂，如叔丁基酚或古马隆树脂来改善粘性，还有抗氧化剂来防止橡胶降解。用刷子、辊筒或喷壶将粘合剂涂抹在被粘物表面。接触粘合剂用于多孔表面如纺织物和不需要快速冷却的材料。当被粘物表面涂抹接触粘合剂时，连接开始并产生连接强度，接触粘合剂不会固化[2,13,14]。

优点和缺点：接触粘合剂在溶剂挥发后直接连接，成本低，连接牢固，具有高剪切强度和韧性。但是其耐热性有限，老化变脆，耐有机溶剂性很差[2]。

17.6.3.2 聚氨酯

聚氨酯弹性体可以用来连接多种被粘物，可以是单组分或双组分形式，采用室温固化或升温固化。通过芳香族异氰酸酯和羟基脂肪醚、聚酯或胺聚合作用使粘合剂固化，最终粘合剂既刚硬（芳香族功能基团）又柔软（由脂肪族所占的比例决定）。通过改变聚合反应中的异氰酸酯和醚或聚酯，可以获得不同的粘合剂特性。聚氨酯形成的连接具有很好的耐剪切和耐温性能。醚基聚氨酯价格便宜，连接强度小于酯基聚氨酯。升高温度则剪切强度降低，温度最高为 250℃（482℉），通常选 150℃（302℉）。剥落强度随着温度升高缓慢下降，或者出现峰值然后下降。聚氨酯是水敏粘合剂，遇水后产生气泡。连接热固性塑料时如压模成型片材应使用底料。回收的热固性基质聚氨酯粘合剂不能再利用，和环氧树脂类似，它们堵塞

注射螺杆，必须被除去[2,13,14]。

优点和缺点：聚氨酯韧性很高（高冲击韧性，耐磨，高粘接强度），有很好的耐溶剂性，配方和特性范围广泛，可以承受低温。但是其单组分系统固化深度有限，双组分系统需要混合，需要使用底料并且有最高使用温度限制。

17.6.3.3　硅酮

硅酮粘合剂是一种多官能硅氧烷，固化后形成韧性弹性体材料，在柔性或半柔性塑料基载荷作用下的分层要低于硬质丙烯酸酯或环氧树脂粘合剂。硅酮粘合剂有单组分和双组分两种形式。单组分粘合剂由硅氧烷聚合物、水解硅烷或硅酮催化剂在湿气环境下反应形成。在室温下固化，固化过程中产生的甲醇、醋酸、胺、肟气体如果没有溢出，会造成金属腐蚀。双组分粘合剂通过酸和多价金属盐的复杂化学反应固化。根据催化剂的活性，固化时间从几分钟至几小时，比其他通过紫外线照射固化的粘合剂要缓慢。采用合适的波长和光强，不到1min就形成不粘表面，聚合物固化获得最大连接强度的80%。通常紫外线固化后再进行湿气固化，使未固化的和阴影下的区域二次固化[2,3,13,14]。

硅酮粘合剂表面不容易润湿，需要进行前处理以提高粘接效果。连接处剥落强度很高，但拉伸强度比使用丙烯酸酯和环氧树脂要低（6.9MPa，即1000psi）。最高使用温度220℃（428℉）。这是因为所有的硅酮都含有硅氧键主链。这种键能量很高，因此硅酮具有很好的高温使用性[3,13,14]。

优点和缺点：硅酮粘合剂具有单组分适应性，不需要溶剂，室温固化，对许多基质粘合性好，柔性好，适用于不同的固化方法。但是其粘接强度低，湿固化系统固化深度有限，对非极性溶剂使用会产生潜在性膨胀。

17.6.3.4　多硫化物

多硫化物粘合剂是柔软的耐化学弹性体，线性脂肪族碳链上含有一个或多个硫原子。有单组分和双组分两种类型。单组分粘合剂固化缓慢，在建筑行业常用作密封剂。双组分粘合剂由多硫化物和环氧树脂组成，相比环氧树脂粘合剂来说不那么脆，具有更好的抗冲击性和伸长率。拉伸强度较低，多硫化物产生难闻气味。因其具有良好的抗燃料性能，常用于航空工业[2,13,14,16]。

多硫化物粘合剂通过无机氧化剂和多价金属的交联反应固化，具有良好的剪切、剥落强度和耐环境性能[13,14]。

优点和缺点：多硫化物粘合剂具有良好的耐环境性、耐有机溶剂性（包括燃料），低温柔软（-62℃，即-80℉），固化过程中的收缩微不足道。但是其粘接强度低，气味难闻，载荷作用下蠕变，温度高于121℃（250℉）时丧失连接强度[2]。

17.6.3.5　压敏粘合剂

压敏粘合剂的制造和涂抹方式同接触粘合剂相似，瞬时具有一定的粘性。但同接触粘合剂不同的是，粘性是固定的，连接功能没有时间限制。压敏粘合剂通常用于涂抹热塑性塑料或作为弹性体粘合剂溶液涂抹在基质上或涂覆在被衬（如塑料薄膜、纸或箔）上作为载体。溶剂挥发后形成粘合剂膜就可以使用，也可以用防粘纸包起来或卷在辊轴上供日后使用[2,14]。

大部分压敏粘合剂是由弹性体（天然橡胶、丁基橡胶、丁腈橡胶和丁苯橡胶）、丙烯酸酯和硅酮树脂合成的。这种粘合剂必须仔细设计配方以具有良好的柔软性、粘性和剥落

强度[14]。

针对半结构材料研究出了许多高连接强度的粘合剂。发泡载体不仅可以作为孔隙填充物，还可以改善连接处的应力分布。这种系统的连接强度可达普通系统的十倍，可长时间承受适度载荷。由于动态和非交联结构，压敏粘合剂的连接强度随时间增加。最初的接触压力保证了聚合物和基体表面紧密接触，但不能在微观或亚微观水平上保证所有的基质表面都紧密接触。随着时间的增加，粘合剂的半流体性使表面完全湿润，因此增加了连接强度。完整的连接需要几天时间[12]。

压敏系统用途很广，可以对大部分表面进行连接（除了含氟聚合物和硅酮）。连接含氟聚合物和硅酮要求接触紧密，表面能量很低。汽车仪表盘或固定二次元件时常采用压敏系统（双面胶条）[14]。

优点和缺点：压敏粘合剂可以瞬间连接，能够连接大部分基质（包括聚烯烃），具有良好的耐环境性能（特别是丙烯酸酯和硅酮），不需混合，可以剪裁去除多余粘合剂。但是其对蠕变十分敏感，承受载荷的能力相对较低，价格昂贵，获得最高连接强度耗时长，连接厚度有限。

17.6.4 热熔粘合剂

热塑性塑料是常用的热熔粘合剂。温度大于热塑性塑料的熔融温度时将熔体涂覆在被粘物表面，产生低粘度流体并湿润被粘物表面，然后将零件夹紧，冷却固化后完成两个基材的连接。热熔粘合剂是粉状、粒状、块状、棒状或膜状的，既可以形成硬质或柔软的连接，又可以填充孔隙和零件之间的不规则面。零件必须在熔融材料固化前迅速连接，许多热熔粘合剂湿润性不好[2,13,14,16,17]。

值得一提的是，若在连接前先对被粘物表面加热，可以避免粘合剂的冷却，改善其湿润性和连接特性。

半结晶热塑性塑料，特别是聚酰胺和涤纶，常用于结构连接。结构热熔粘合剂必须在合理的温度和时间下湿润被粘物表面，且不发生热降解。聚酰胺可以快速熔融形成低粘度液体，是一种有效的粘合剂。熔体的热稳定性很差，加工温度比熔融温度稍高，零件必须快速连接[13,14]。

聚酰胺适用于大部分零件的连接。聚砜和 EVA 共聚物分别适用于高温和低温条件。涤纶需要很高温度熔化，形成粘度很低的熔体来湿润被粘物表面[14]。

热熔粘合剂十分方便，可以迅速使用。热熔粘合剂具有好的耐溶剂性和耐燃料性，具有高的剪切强度和适度的剥落强度。如果需要高的剥落强度，可以使用基于热塑性橡胶的热熔粘合剂。因为热熔粘合剂是非溶剂基的粘合剂，所以没有毒性并且适应空气质量的变化[13,14]。

优点和缺点：热熔系统价格低廉，制备方法多样，塑料粘接效果好，快速连接固化，单组分不需要溶剂。但是其对金属粘性差，需要加热分散（操作安全），冷却迅速，容易热解，对湿气敏感，高温下易破坏已连接好的塑料零件。

17.6.5 单组分热塑性乳胶

单组分乳胶由热塑性塑料和弹性体组成，聚合物分散在水溶剂内而不是热熔体；通常使

用醋酸盐聚合物作为白色粘合剂。大多数情况下，基质必须是可渗透性的，使水能够从连接处去除。乳胶用于木材和造纸业中的高速生产设备，可以连接木材、纸、纤维、皮革和其他多孔基质。乳胶中添加的固体填料形成糊状物，可以用于瓷砖和壁纸的粘接和密封。这种连接清洗容易，用水即可完成[2,5]。

优点和缺点：单组分乳胶价格低廉，使用水作为溶剂，有多种填料和粘度的选择。但是其干燥缓慢，至少需要一个多孔表面，水基乳液容易结霜，温度增高则性能不好。

17.7　表面处理方法

17.7.1　概述

被粘物的表面处理对粘合剂的连接效果十分重要。没有正确的表面处理，即使最好的粘合剂也不会形成牢固的、高强度的连接。表面处理是指清洁被粘物表面或在表面引入化学功能团使表面湿润后进行被粘物和粘合剂连接。表面污染包括脂肪、灰尘和油的污染；金属表面污染是指氧化腐蚀。根据被粘物和表面污染情况来选择表面处理方式。通常表面处理方式包括机械处理、化学处理和电处理。新的处理方法如等离子体、紫外线和激光则用于表面改性。对非金属表面的处理步骤是先进行溶剂清洗，然后对表面研磨或化学改性，最后再进行溶剂清洗。在表面处理后应迅速进行粘合剂连接，几小时甚至几分钟的延误都会影响表面处理的效果[1,14]。

采用剥落层，即紧密编制的、处理过的尼龙或聚酯织物层压在表面上，可以避免表面污染。在连接前将剥落层去除，可以得到干净粗糙的表面[13]。

17.7.2　化学清洁处理

17.7.2.1　溶剂清洁和脱脂

溶剂清洗是零件表面处理的第一步。溶剂清洗去除隔离剂（如零件成型时表面的硅酮）和零件表面沾到的机械油。打磨含油或油脂的表面会进一步将表面污染带入工件，表面存在污染时化学改性是没有效果的。在打磨处理前后都应进行溶剂清洁。多孔表面应采用溶剂浸湿的无绒布擦拭，擦拭布不能重复使用。浸湿的擦拭布不能带走基质表面的碎屑。溶剂不同所需的挥发时间也不同，根据不同的表面处理方式、环境控制仪器和污染的种类，可以选择很多种溶剂[1,14]。

常用的溶剂有甲基乙基酮、丙酮、甲苯、异丙醇、三氯乙烯和全氯乙烯。基质表面涂抹脱脂溶剂，或浸入搅动的溶液中大约5min。若要进行表面化学改性，仅仅进行脱脂是不够的[1,14]。

17.7.2.2　洗涤剂清洗

洗涤剂、肥皂和苛性钠都是便宜且无毒的。通过喷雾、擦拭或浸泡在超声波搅动溶液里将它们涂抹在零件表面。它们可以有效地去除污渍和油脂，但可能同有些金属反应产生新的污染，涂抹时应加热，以减少这种反应[1]。

17.7.2.3　碱液清洗

脱脂处理后，零件浸入碱性溶液。零件在温度为77～93℃（171～200℉）的碱性溶液中不断搅动，像污渍、金属碎屑和其他污染都可以去除，需要加入更多的碱性溶液来保持

pH 值的恒定。如果污染级别太高，则应更换碱浴。经过碱液清洗后，基质应用水冲洗以去除所有的碱性溶液，不能让碱液在基质表面残留[1,14]。

17.7.3 机械处理

机械处理包括多种摩擦方法：用颗粒或金属垫擦洗，或者用砂纸、砂布、钢丝刷、刮刀或尖锤摩擦。快速自动摩擦方法包括喷砂、翻滚和砂粉。摩擦多用于金属，可以去除粗大的污染和表面粘附的低分子材料。摩擦会使表面粗糙度变高，并且将两种材料中较软的去掉。对于聚合物来说，摩擦会去除表面凝胶层，露出聚合物本体。摩擦会使磨料、表面污渍和表面的材料碎片聚集，在连接前这些颗粒必须用干净的干布或刷子，或者压缩空气过滤器，或者吸尘器去除。对于某些塑料，特别是像聚烯烃这样的软系统来说，摩擦后的碎片还会粘在表面，无法使用刷子、吸尘器去除或者吹掉[1,18]。

在粘合剂摩擦中，塑料表面被液体粘合剂摩擦。摩擦后的被粘物立即被压紧使粘合剂固化。带有粘合剂的摩擦会产生自由基，自由基直接和粘合剂作用；无粘合剂的摩擦产生的自由基会在涂抹粘合剂之前和空气中的氧气作用。粘合剂摩擦常用于含氟聚合物，含氟聚合物具有惰性、耐冲击、难以连接的特点[3]。

17.7.4 表面改性

17.7.4.1 蚀刻或氧化

塑料表面氧化处理常常采用过硫酸铵、氯气、臭氧、高氯酸、高锰酸和最常用的铬酸。在基质表面引入了如羟基、碳基、羧酸和硫酸氢盐的反应基团，并形成许多小孔，使粘合剂与被粘物机械联锁。聚烯烃、ABS、PPO 和缩醛常用铬酸氧化或蚀刻。增加反应时间和温度可以增加 PP 的蚀刻深度；延长蚀刻时间可以增加 PE 的氧化深度和数量[1,3,14,18]。

17.7.4.2 钠处理

含氟塑料很难连接，需要很高的反应溶剂，如金属钠无水液氨溶液或环烷酸钠四氢呋喃溶液。这种溶剂使塑料表面溶解，增加表面粗糙度，连接过程提高了机械联锁强度。此外还引入了非结构键和碳基，增加了化学反应性。金属钠使零件表面暗化，深度大约 1μm，继续处理会损害零件表面。处理后的表面可以保持数年，加热或紫外线照射会使表面迅速破坏。在氧化环境下，钠蚀刻方法十分有害，而且破坏迅速[3,7,14,18]。

17.7.4.3 碘处理

碘处理常用于尼龙表面结晶的改性，氨基从平行于表面的 α 型改为垂直于表面的 β 型。粘性的增加是因为提高了化学反应活性而不是机械联锁的作用[3]。

17.7.4.4 表面接枝

化学基团可以移植到基体表面来增加粘性。在乙烯醋酸单体中用 γ 射线对聚乙烯照射，单体就被化学移植到 PE 表面，增加了聚乙烯和粘合剂的反应性[3]。

17.7.4.5 热处理

将塑料基体置于热空气 500℃ （932℉） 中使表面氧化，产生的极性基团（羰基、羧基、氨基和过氧化氢）增加了表面的湿润性，发生交联作用，分子链的分离增强了连接过程中的界面扩散。热处理和火焰处理相似，是聚烯烃常用的处理方法[3]。

17.7.4.6 底料

有时在粘接前先在零件表面涂抹底料。溶剂挥发后，在表面留下化学反应基团。底料提供的多功能基团和粘合剂或基体先反应，从而使基体和粘合剂连接起来。底料常用于缩醛、含氟聚合物、聚丁烯、聚烯烃、聚氨酯和硅酮的连接。聚烯烃表面可以立即连接，但像硅酮和聚氨酯粘合剂使用的硅烷和异氰酸酯必须和空气中的水分子反应才能连接[3,14]。

17.7.5 电火花处理

17.7.5.1 电晕放电

电极处于高压离子中会产生电晕放电现象（见图17.4）。如果塑料薄膜在高压电极和滚动电极间通过，一些离子气体颗粒会和塑料表面反应，在表面中引入反应基团并增加塑料的表面粗糙度，此过程中会产生羰基、羟基、过氧化基、醛、醚、酯、羧酸和不饱和化合物。电晕放电通常在空气中使表面氧化，也可以将氮气作为离子气体。电晕放电常用于聚烯烃，处理聚乙烯和聚丙烯的电压为15kV，频率为20kHz[3,18]。

17.7.5.2 等离子放电

等离子放电中，一对电极以无线电频率对一种低压气体（0.1～1.0Torr，1Torr = 133.322Pa）作用，使气体激活（见图17.5）。电子脱离了气体粒子，形成高能量的自由粒子。高能气体颗粒由高级向低级跃迁，发出紫外线或高于紫外线频率的射线。等离子放电就像霓虹灯、荧光灯和电灯一样。当零件放入低压处理室后，表面的水、油脂和其他有机物都会被去除。等离子放电的深度为0.01～0.1μm，减小了接触角，增加了湿润性。这种工艺最适合加工PE、PP、PEEK、聚酰胺-酰亚胺（PAI）和液晶聚合物（LCPs）[3,8,18]。

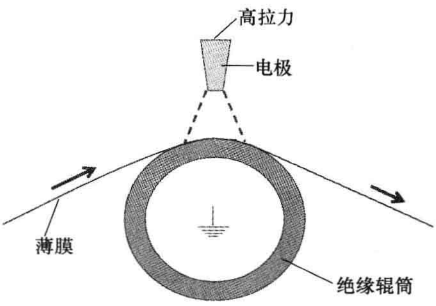


图17.4 电晕放电原理图
（来源：英国焊接研究有限公司）。

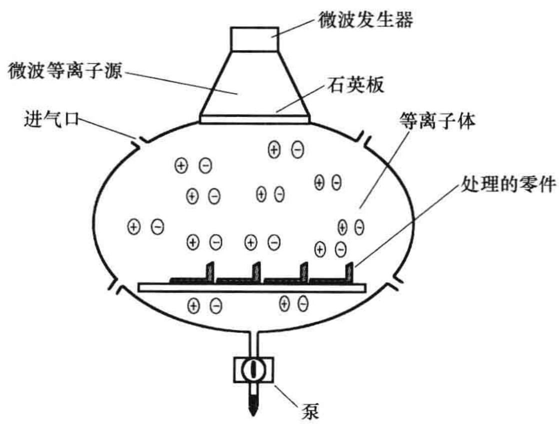


图17.5 等离子放电原理图
（来源：英国焊接研究有限公司）。

等离子放电后基质应迅速连接，否则会导致表面粘性的损失。等离子放电的机理是基质表面的交联和表面的分子链分离。交联使表面不脱落，分子链分离则通过降低表面粘性和增加分子移动性来增强分子扩散的作用。等离子处理适用于多种塑料，气体的种类影响连接强度——氨气适合聚丙烯，氩气适合LCP，氧气适合PAI[3,8,18]。

17.7.6 其他表面处理技术

17.7.6.1 激光处理

激光处理PP和PE时，采用XeCl、ArF和KrF激光可以在表面引入氧化基团，去除表面污染[19]。

CO_2激光表面处理可以增加PEI和其他工程塑料的连接强度，也可以使热塑性被粘物表面软化[8]。

17.7.6.2 跨晶粒增长

跨晶粒增长基质在高能金属基上成型，使塑料表面形成晶粒。从塑料金属界面向内形成棒状或柱状的球粒，相对分子质量低的材料进入零件内部。同时塑料表面发生氧化，增加湿润性。加工过程中，模制条件（如冷却速率）和模具表面对处理效果有很大影响。这种技术可以用来处理聚烯烃、聚酰胺和聚氨酯[3]。

17.7.6.3 紫外线辐射

特定波长的紫外线可以使零件表面链分离、交联和氧化。表面处理效果由紫外线波长决定，在184nm（而不是253.7nm）时PE会发生交联。紫外线照射后粘合剂性能增强、湿润性增加、交联作用使塑料边界层强度增加、产生氢化键，特别是链分离后增加界面扩散作用和极性作用[3]。

17.7.6.4 火焰处理

塑料表面经火焰处理后，由自由基原理，表面引入羟基、碳基、羰基和氨基基团。同时也会发生链分离和交联，增加了连接过程中的湿润性和界面扩散。火焰处理的作用深度为4～9nm，常用于聚烯烃、聚甲醛和PET的处理[3,18]。

17.7.6.5 去除表面层

采用高能离子束或高射频离子放电使表面发生蚀刻来去除表面层和表面污渍，得到粗糙的有纹路的连接表面[18]。

17.8 粘合剂连接的影响因素

17.8.1 应力开裂

由于应力低于塑料强度，许多塑料零件的内部或外部都会产生应力开裂。热固性塑料、缩醛、PPS、聚烯烃、聚酰胺、硬PVC和聚对苯二甲酸丁二酯（PBT）不容易发生开裂，而丙烯酸酯、PC、PS、SAN、PSO、ABS和PPO非常容易开裂，酯、酮、芳烃溶剂最容易引起应力开裂[3,5,17,20]。

错误的成型参数、加工工艺或降低热成型温度都会引起应力开裂。零件中含有金属嵌件或尖角将会产生更大的应力，这些都会使塑料产生细小的裂缝。当涂抹粘合剂时，粘合剂会从零件中穿过，使破坏更加严重。裂缝最终会扩展至整个零件，使零件失效。模内压力可以通过改变成型周期或对零件成型后进行回火处理来减小。对于塑料连接来说，溶剂、粘合剂和底料必须相兼容，因此对未测试的材料应仔细检查粘合剂的效果（见表17.3）。使用粘合剂应适量，多余的粘合剂应迅速去除。对于容易应力开裂的塑料应避免使用厌氧胶螺纹锁固粘合剂。螺纹会产生应力，不仅在未固化粘合剂的连接处，而且零件内部应力也很高。表面

处理像用砂纸打磨、异丙醇擦拭和酒精处理后立即连接等都可以减少应力[3,16,20]。

表17.3　不同塑料使用氰化丙烯酸酯和丙烯酸酯粘接后的耐应力开裂情况

塑　料	氰化丙烯酸酯	丙烯酸酯
ABS	●	●
POM	○	○
PMMA	●	●
ASA	○	●
DAP，DAIP	○	○
纤维素类塑料	●	●
环氧树脂	○	○
氟聚物	○	○
离子键聚合物	●	●
液晶聚合物	○	○
酚醛树脂	○	○
聚酰胺（尼龙）	○	○
聚对苯二甲酸丁二酯	○	○
PC	●	●
聚酯，热固性	○	○
PEEK	○	○
聚醚酰亚胺	●	○
聚醚砜	●	●
PE	○	○
聚对苯二甲酸乙二（醇）酯	○	○
聚酰亚胺	○	○
PMP	○	○
聚苯醚	●	●
聚苯硫醚	○	○
PP	○	○
PS	○	●
聚氨酯	●	●
PVC	●	●
苯乙烯-丙烯腈共聚物	○	●
乙烯基酯	○	○

注：○表示一般情况下相容；●表示应进行测试。

具有不同热膨胀系数（线性）的材料连接时，在高温或低温下零件会产生应力开裂。这是因为材料的热膨胀系数不同，高温膨胀量和低温收缩量不同。零件连接后，零件的运动受到严格限制，两种材料的膨胀和收缩程度必须相同。如果塑料的热膨胀系数不同，则会产生应力，降低连接强度。热膨胀系数可以靠加入填料、增强剂或通过交联来减小。如果材料

的选择不能更改，增加连接厚度或选择柔软的粘合剂可以减少应力开裂，但粘合剂膜不能约束零件的相对移动。表 17.4 列出了一些常见材料的热膨胀系数[3,5,17]。

表 17.4 常见材料的热膨胀系数参考值

材　料	热膨胀系数（线性），20℃	
	μm/m℃	μin/in℉
聚甲醛共聚物，30%玻璃纤维增强型	25～43.2	13.9～24
聚甲醛共聚物，非增强型	12～162	6.67～90
聚丙烯酸树脂，普通用途，模塑成型	60～130	33.3～72.2
ABS，填充40%玻璃纤维	23	12.8
ABS，模塑成型	65～150	36.1～83.3
氧化铝（96%），厚膜，火焰处理的	6.3	3.5
铝	24	13.3
铬，退火处理的	6.2	3.44
铜，退火处理的	16.4	9.11
环氧树脂粘合剂	4.5～86.4	2.5～48
环氧树脂，浇注型，非增强	100	55.6
环氧树脂/碳纤维复合材料	9～14	5～7.78
EVA，模塑成型/挤出成型	30～160	16.7～88.9
金	14.4	8
石墨，碳	0.6～4.3	0.333～2.39
HDPE，挤出成型	140	77.8
HDPE，注射成型	22～200	12.2～111
铁	12.2	6.78
液晶聚合物，矿物质填充型	-10～12	-5.5～6.67
LDPE，模塑成型	30～230	16.7～128
天然橡胶，未硫化的（NR，IR，聚异戊二烯）	666	370
天然橡胶，硫化的（NR，IR，聚异戊二烯）	225	125
镍，退火处理的	13.1	7.28
丁腈橡胶（NBR，丙烯腈-丁二烯橡胶）	702	390
尼龙11，非增强型	85～180	47.2～100
尼龙6，抗冲击级	20～140	11.1～77.8
尼龙66，抗冲击级	20～140	11.1～77.8
酚醛树脂，非增强型，模塑成型	77	42.8
聚对苯二甲酸丁二酯，非增强型，模塑成型	50～145	27.8～80.6
PC，挤出成型	70	38.9
PC，模塑成型	32～120	17.8～66.7

（续）

材　　料	热膨胀系数（线性），20℃	
	μm/m℃	μin/in℉
PC/ABS 合金，填充玻璃纤维型	26～59.4	14.4～33
聚酯（热固性），硬质	135	75
聚酯（热固性），模塑成型，合成纤维填充剂	80	44.4
PEEK，非增强型	22～54	12.2～30
聚醚砜	31～70	17.2～38.9
聚苯硫醚，模塑成型	15～50	8.33～27.8
PP，挤出级	100	55.6
PP，模塑成型	25～185	13.9～103
PS	50～125	27.8～69.4
聚四氟乙烯，模塑成型	79～150	43.9～83.3
聚氨酯（热固性），液体	42～250	23.3～139
PVC，挤出成型	45.1～124.5	25.1～69.2
PVC，模塑成型	50	27.8
二氧化硅（96%），玻璃	0.75	0.417
硅树脂，RTV，粘合剂/密封级	350	194
钢 AISI1005	12.6	7.28
SBS	75	41.7
热塑性聚氨酯，弹性体，填充玻璃纤维	83～250	46.1～139
热固性含氟弹性体	140～260	77.8～144
碳化钨	4	2.22
锌	31.2	17.3

17.8.2　零件厚度和采用紫外线固化粘合剂的零件颜色

当选用紫外线固化剂时，增加零件厚度或零件有颜色/涂抹彩色会弱化光照，如果不增加固化时间，则会降低连接强度。

17.9　设备和使用方法

粘合剂和涂抹方法有很多。人工涂抹使用简单的、便宜的设备（抹刀、刷子、辊筒、挤瓶和喷胶枪），通常用于低速、低产量的场合，也可以用于高速生产线上。自动化涂抹用于高速、机械化设备，如辊筒涂机和流动涂机。半自动化涂抹介于昂贵的机械涂抹和便宜的手工涂抹之间。压缩空气设备如喷枪、填缝枪和高压挤出枪是常见的半自动涂抹设备。粘合剂连接的相关设备包括紫外线固化系统、储藏设施、通风系统和安全设施[1,15]。

抹刀（trowels and putty knives）常用于涂抹难以涂覆的厚重的粘合剂，均匀涂抹是很难的。有些抹刀沿着涂抹边缘带有凹痕，可以控制涂抹的粘合剂量。抹刀涂抹需要敞口粘合剂容器，还必须在通风环境下进行[1]。

刷子是最常用的涂抹方式。刷子涂抹是一种劳动密集的涂抹方式，每次只能涂抹大零件的小部分面积和小的或者不规则形状的零件。粘合剂涂抹均匀很难，需要使用溶剂清除剂去除液滴。流动刷用于高速生产，粘合剂经刷柄流到刷毛。这种方法更加均匀，并且浪费少。半自动涂抹溶剂粘合剂还需要空气压力和通风设施[1,6,15]。

浸沾用于整个零件的涂覆和大量相同尺寸或不同形状零件的涂覆。这种方式比人工涂覆块，可以采用自动涂覆提高速度。部分零件还需要遮盖，有些溶剂粘合剂还需要通风设施。浸沾十分浪费粘合剂，许多粘合剂是不采用这种方式的[6,15]。

辊筒和辊筒涂机是用来涂抹那些不能用其他方式涂抹的厚重而粘稠的粘合剂。人工辊筒由硬橡胶或塑料制成，有多种长度和直径的辊筒。辊筒手柄可以增加长度。辊筒可以对多种不同表面涂覆。在辊筒涂覆前，粘合剂必须先沉积在工件上，能否均匀地涂覆取决于操作者的技术。辊筒涂机是自动仪器，可以实现快速均匀的涂覆且没有浪费。辊筒涂机有多种尺寸，大型的机器可以加工连续金属网、箔、编织的织物或非编织的材料[1,15]。

喷雾是一种快速大面积的涂覆方法。空气喷枪可以用来对塑料、金属、木材、玻璃、陶瓷、皮革、纸张和织物进行细雾状粘合剂喷涂。空气喷枪利用空气压力来推动粘合剂；无气式喷枪利用液压来推动粘合剂。无气式喷涂比空气喷涂耗能少、效率高、过度喷涂（喷涂超出了指定区域）少。使用无气式喷涂还可以减少空气中油或水所造成的污染。空气喷枪和无气式喷枪都带有加热装置，可以对高粘度粘合剂进行喷涂。因为加热的粘合剂雾化所需能量很小，可以进行很厚的涂覆且可以减少过度喷涂。但涂覆过程中喷嘴易堵塞，需要停下来清理。因为喷涂需要反复地喷涂表面来形成厚度均匀的粘合剂层，所以喷涂要比浸沾和自动辊筒涂抹缓慢[1,15]。

喷涂可以采用手工喷涂或自动装置。结构复杂的零件就需要手工喷涂，这就需要控制好粘合剂的粘度来反复喷涂，技术娴熟的工人可以实现表面均匀地涂覆。自动喷涂装置需要喷涂运输室，在里面对小零件的一面喷涂粘合剂。大型的零件可以在加工时同时通过喷涂室进行喷涂。此外，还可以根据零件的复杂程度来设计合适的喷涂装置[15]。

压力或时间涂机如喷胶枪、针头或挤瓶都可以准确地提供滴状或带状粘合剂。喷胶枪利用空气压缩胶管可以快速准确地涂覆。油壶和聚乙烯挤瓶可以进行点状挤出；多功能喷口可以同时进行多点挤出，聚乙烯挤瓶不能用来盛放易和聚乙烯反应的粘合剂，同时由于溶剂原因需要通风[1,6,15]。

丝网用来对平表面的特殊位置进行低粘度涂覆。粘合剂穿过带有不同孔的布料，避免粘合剂渗透到不需要涂抹的地方。这种方法涂层很薄，不适合发粘的或干燥迅速的粘合剂[1,15]。

流动涂覆，又称面纱或窗帘涂覆。金属、塑料、纸、木材或皮革基质由传送带传动，帘状粘合剂流下进行表面涂覆，多余的粘合剂流回到储藏室继续使用。流动涂覆需要监控，因为溶剂不断地挥发，粘度有变化，增加了涂层的厚度。因为粘合剂反复与空气接触而固化，设备的清洗十分困难[1]。

双组分糊状粘合剂通常使用某种静态混合头混合，粘合剂通过一根管子，管内由嵌件通过螺旋状截面分成两股，如图 17.6 所示。每经过一个螺旋截面，粘合剂分为两个方向然后再次混合；经过 8 ~ 15 个截面后，粘合剂混合均匀，不含有多余气体。通常粘合剂经动态混合后不会有多余气体，此处叫静态混合。

在低流量或中流量涂覆中，双组分糊状粘合剂通常使用轻便的枪型设备（使用两重套筒系统），通过柔软的胶管相连，提供大量的粘合剂。机器人胶枪的结构也与此类似。

最近研发出一种新型设备，可以减少由机器失误和操作失误所造成的混合失误。这种系统称为“失误保护”，采用气压控制的微剂量注射系统，可以对每次微注射准确控制，如果注射时流动不畅，设备就会停机（见图 17.7）[21]。

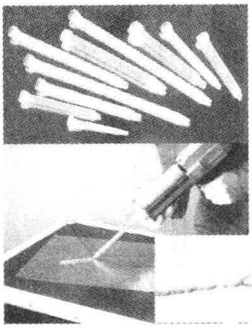


图 17.6　静态混合头系统
（来源：英国焊接研究有限公司）。

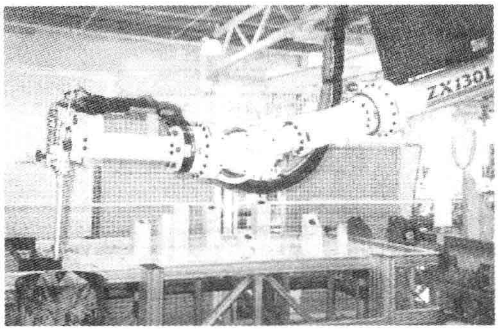


图 17.7　带有失误保护头和混合喷嘴的机械手
（来源：失误保护计量国际有限公司）。

热熔体粘合剂，加热代替了粘合剂的液化。由于速度快，热熔体粘合剂常用于大容积包装线上。热熔体设备用于包括空气喷涂或无气式喷涂，以及轮、挤出或喷嘴涂覆。使用喷枪可以避免直接和被粘物接触；轮涂机常用于箱子的密封，使粘合剂质量和形状分散准确；接触挤出涂机常用于皮包加工和换网[1,15]。

17.10　接头设计

粘合剂连接的接头设计对连接强度、可靠性和牢固性十分重要。最有效的接头设计取决于零件所承受的应力和粘合剂、被粘物的力学特性。

粘合剂连接接头如图 17.8 所示。接头必须和零件受到的各种载荷相适应。对于结构连接来说，一端被粘物所受到的载荷必须经粘合剂传递到接头另一端的零件。增大连接面积可以提高连接强度；对于承受结构载荷的混合被粘物，大部分粘合剂强度低于被粘物强度，连接面积必须大于被粘物的横截面面积。搭接接头或搭接组合的接头（啮合搭接，双搭接，双斜面搭接，对接斜面搭接）的连接面积最大。对于 T 形接头和对接接头来说，连接面积受零件壁厚的影响；粘合剂连接中不建议使用这种接头。对于弯曲表面来说，每个表面应有相同的曲率，使得在整个接头区域均匀接触[1-3,13-15]。

零件连接后接头受到多种应力作用：拉伸应力（见图 17.9a）作用在零件上与接头平面垂直，有拉伸接头、延伸零件的趋势；压缩应力（见图 17.9b）同样作用在接头平面的垂直方向，但具有使零件紧密贴合的趋势；剪切应力（见图 17.9c）作用方向和接头平面方向相同，有使两零件相对滑动的趋势；裂开应力（见图 17.9d）在连接端部开口处产生；剥落应力（见图 17.9e）在软基质从其他基质表面剥落或揭开时产生[2,3,5]。

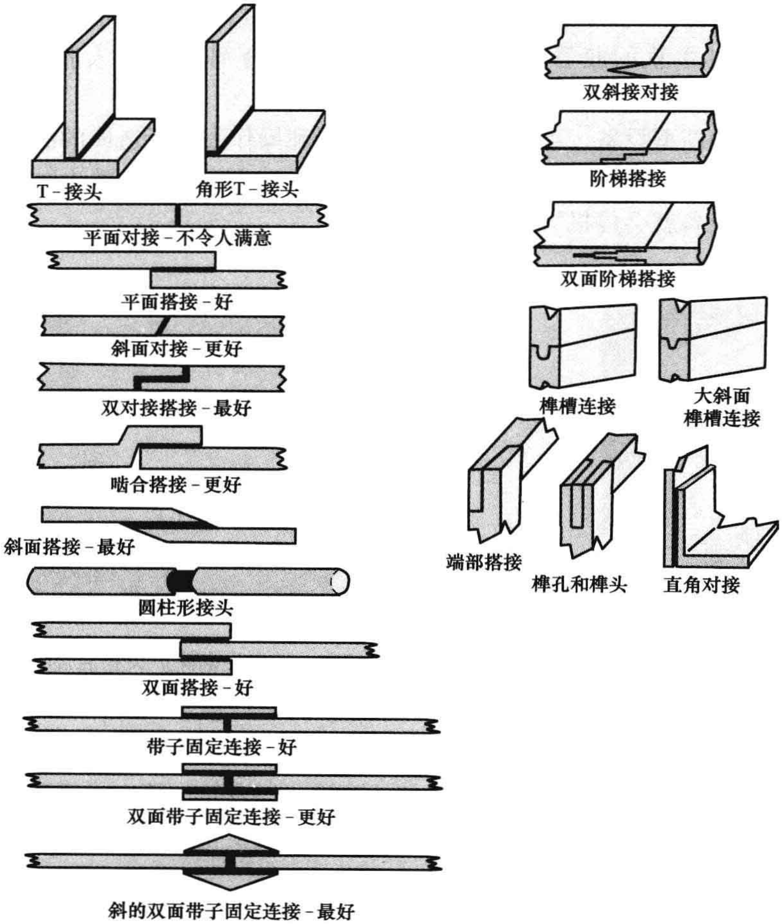


图 17.8　粘合剂连接接头设计（来源：英国焊接研究有限公司）。

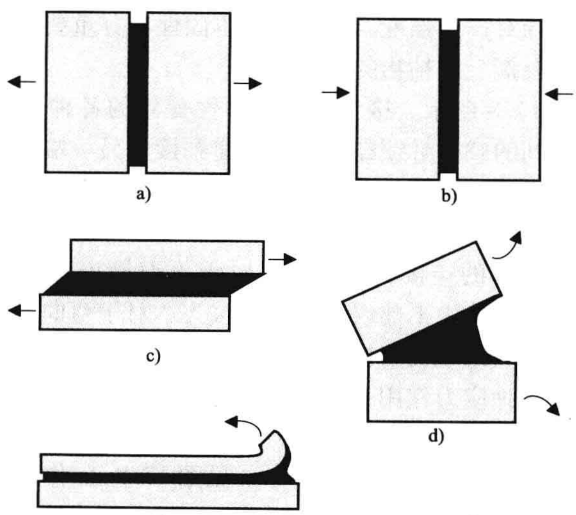


图 17.9　粘合剂接头上的应力（来源：英国焊接研究有限公司）。
a）拉伸应力　b）压缩应力　c）剪切应力　d）裂开应力　e）剥落应力

粘合剂的应力分布影响接头的承载能力。设计接头时应尽量使应力分布均匀，使粘合剂产生均匀应力。承受拉伸、压缩或剪切应力作用的粘合剂接头比承受裂开或剥落作用的接头应力分布更加均匀。拉伸和压缩应力均匀分布在整个连接区域（见图17.10a）。大部分粘合剂薄膜的压缩强度大于拉伸强度；合理的接头设计应使压缩应力最大而拉伸应力最小。裂开或剥落应力集中在接头的一端（见图17.10b）。尽管有的低模量弹性粘合剂的剥落强度很高，但粘合剂的剥落强度为剪切强度的1%。剥落强度可以通过对称连接减小，如双搭接（见图17.8）。设计接头时应使剥落和裂开应力最小，剪切应力最大[2,3,13]。

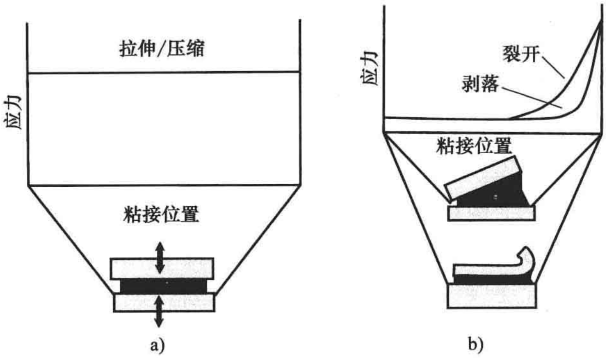


图17.10　沿着连接处的应力分布（来源：英国焊接研究有限公司）。
a）拉伸和压缩　b）剥落和裂开

对于剪切应力来说，连接端部要比中部受到的应力大（见图17.11b和d）。这种应力分布不完全是由于塑料的柔性造成的。当塑料受到载荷作用时，塑料会弯曲，增加了连接端部的应力集中。低弹性模量塑料（2068MPa，即300kpsi）的应力比（最大应力/平均应力）为15.0左右，比钢的应力比（1.7左右）大得多。低载荷作用下应力集中会导致连接失效。在设计接头时考虑粘合剂的弹性模量、连接重叠部分的长度和连接层厚度可以有效减少应力集中[1-3]。

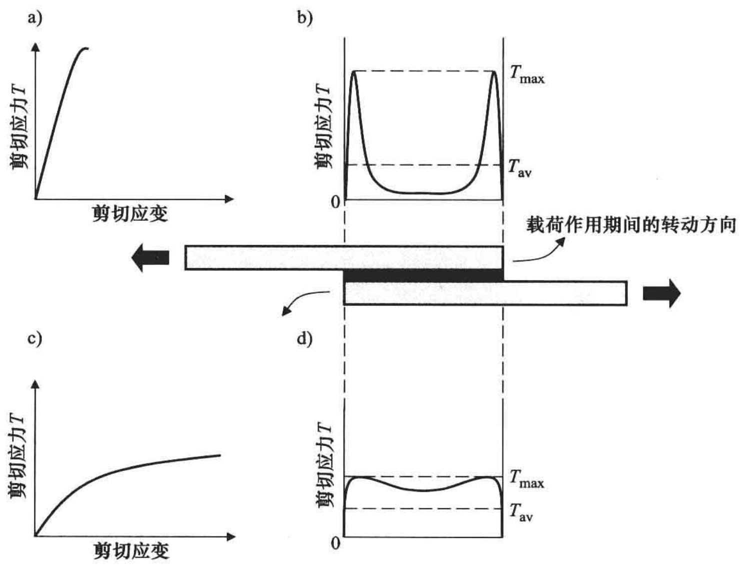


图17.11　质脆和弹性材料剪切应力分布（来源：英国焊接研究有限公司）。
a）质脆粘合剂应力应变曲线　b）质脆粘合剂连接应力分布
c）弹性粘合剂应力应变曲线　d）弹性粘合剂连接应力分布

粘合剂的弹性模量影响连接的应力分布。质脆高弹性模量的粘合剂在剪切应力作用下应

力应变曲线如图 17.11a 所示；图 17.11b 中连接端部的应力迅速增长；图 17.11c 表示大弹性模量粘合剂的高伸长率和应力应变行为；图 17.11d 表示更均匀的应力分布。弹性粘合剂的柔性使接头更容易与被粘物在载荷作用下相适应，应力作用的面积增大，应力比减小。使用低模量（1.4MPa，即 200psi）粘合剂替代高模量（2068MPa，即 300kpsi）粘合剂可以使应力比由 22.4 降为 1.2。尽管在某些情况下低模量的粘合剂连接强度更高，但因变形量少不能承受结构载荷。由于承受应力分布的面积更大，同样强度的弹性粘合剂比脆性粘合剂具有更高的平均应力。脆性粘合剂对裂纹扩展十分敏感，比弹性粘合剂疲劳寿命要低[1-3]。

尽管连接面积越大连接强度越高，但相比连接长度（或搭接部分长度）来说，连接宽度是更为重要的设计参数。连接强度随着连接长度的增加而增加，达到峰值后不再变化。由于连接端部会产生剪切应力集中，剪切强度与连接宽度成正比。2cm（0.8in）的连接宽度的剪切强度是 1cm（0.4in）连接宽度强度的两倍，但 2cm（0.8in）的连接长度的剪切强度不是 1cm（0.4in）连接长度的两倍。短而宽（见图 17.12b）的连接强度大于长而窄（见图 17.12a）的连接强度。缩短连接部分重叠长度可以减小弯曲和剪切应力集中；重叠长度从 2.5cm 减小至 0.32cm 可以使应力比从 22.5 减至 3.78[1-3]。

通过增大应变作用面积、加厚连接层可以减少剪切应力集中，使粘合剂应变减少。连接层厚从 0.025mm（0.1in）增至 1.0mm（0.4in）可使应力比从 18.4 降为 3.06[1-3]。

搭接接头连接中最常用的减少应力集中的方法是使被粘物一端变为楔形（见图 17.13a）。连接端部应力减小，应力分布更加均匀。模型研究显示，随着楔角减少，剥落应力和剪切应力也相应减小，合适的楔角可以使连接更加经济。当连接长的搭接接头时，可以采用阶梯搭接接头，以避免连接端部和中部出现太大的应力集中差异[1,2,8]。

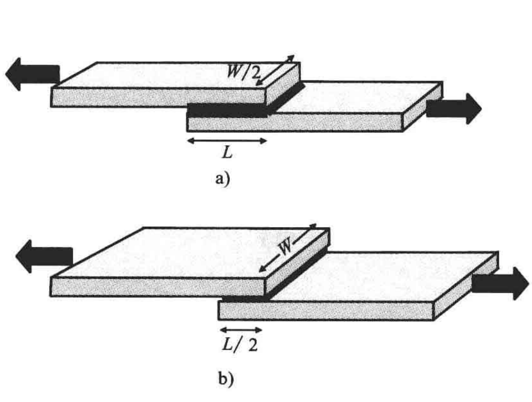


图 17.12　连接尺寸决定剪切强度（来源：英国焊接研究有限公司）。
a）长而窄的连接　b）短而宽的连接

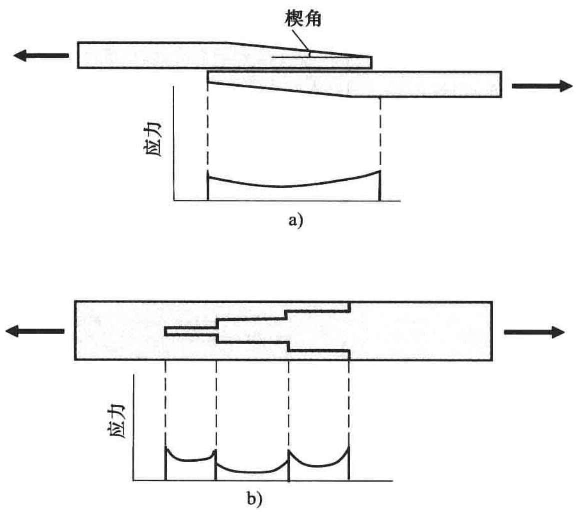


图 17.13　粘合剂连接中减少应力集中的接头设计（来源：英国焊接研究有限公司）。
a）楔形搭接　b）阶梯搭接

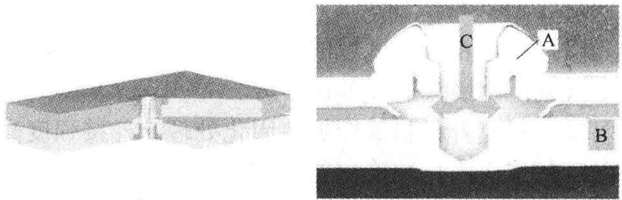
17.11　混合连接

有时可以将粘合剂连接和其他连接过程配合使用，称为混合连接。以塑料为例，最常用

的其他连接是机械固定，固定元件常采用螺纹元件或铆钉起主要作用（主要承受载荷而粘合剂用作密封或起备用承载作用）或次要使用（用作辅助连接或起备用承载作用）。大多数情况下，机械固定需要在两零件上开孔，这些孔会引起局部应力过大，造成材料损坏，因此附近的粘合剂可以吸收应力，延长结构寿命。

粘合剂起辅助作用的例子如飞机的机翼，机翼是由碳复合材料制成的，尽管采用结构粘合剂连接，但设计要求用金属紧固做主要连接方法，使用粘合剂对机翼（和燃料储藏室）整体密封。相比之下，由 GRP 制成的小船或游艇则主要使用粘合剂来结构连接，但还是需要一些安装孔来保证装配对准，并且在固化时施加压力。

采用混合连接时，紧固件可以具有很多功能。最大的功能是使紧固件连接系统装配简单，控制配合间隙和粘合剂的厚度，使粘合剂直接作用在接头处，并使接头处作次要的备用承载（见图 17.14）。粘合剂快速固定元件内部具有一定空间，使连接的零件有固定距离。中间直至底部有通道使粘合剂可以直接注入型腔。可采用自动注射以减少人工操作失误，根据应用场合可以选择多种方式。



a)　　b)

图 17.14　AdhFAST 系统
（来源：英国焊接研究有限公司）。
a）AdhFAST 结构示意图　b）AdhFAST 截面
A—固定主体　B—分隔元件　C—粘合剂通道

17.12　粘合剂连接注意事项

1）使用机械固定辅助的粘合剂连接可以减小连接边缘的剥落应力，但会增加不必要的强度。

2）对于表面配合情况不好的零件来说，无论是在被粘物表面吸水还是涂抹催化剂，丙烯酸酯粘合剂都不适合。这种粘合剂最大可以填充缝隙0.25mm（0.01in）。如果表面作用力不能避免液体流走，液体粘合剂就会从缝隙中流过，应使用触变填充粘合剂代替。

3）热固化粘合剂中的空隙来自于粘合剂中易挥发物质的气体，水蒸气是最常见的气体。如果粘合剂在水的沸点之上固化，应避免水蒸气的产生；在水沸点温度以下固化时应使粘合剂避免变为溶胶。气体的另一来源就是双组分粘合剂混合和连接时带入的气体，当零件压紧或粘合剂流动时气体没有排出，则会在连接层内产生气泡。

4）使用热固化粘合剂连接两种不同的被粘物时会产生热应力，使连接失效或冷却分离。可以通过降低粘合剂胶体的温度来减小热应力，采用后固化技术提高粘合剂的玻璃态转化温度。仔细设计接头可以避免产生热应力。

5）仔细设计接头，使连接表面不渗透，空气和水密封性好。聚氨酯或粘性韧性非常好的丙烯酸酯密封效果良好，只是涂抹困难。

6）在载荷要求很高的小型连接中，特别是没有固化时间时，机械固定如螺钉、嵌件比粘合剂效果更好。如果不会导致塑料变脆或应力开裂，氰基丙烯酸盐粘合剂也是十分适合的。

7）根据应用场合选择连接热塑性塑料和金属的粘合剂。如果零件要承受很高的温度变

化，应选择柔性粘合剂，以适应热膨胀量的明显差异。聚氨酯粘合剂对热塑性塑料和金属连接具有很好的韧性和连接效果。如果零件环境温度变化不大，则选用丙烯酸酯粘合剂。

8）进行一些特殊用途时，粘合剂应该进行测试。采用物理或化学测试测量水分含量、树脂含量、基树脂含量、二次树脂含量、固化剂和增速剂。

9）选择结构粘合剂时应进行牢固性测试、热连接效果测试、湿度或液体测试和应力测试。

10）粘合剂储藏时，在指定温度范围内温度应尽可能地低。

11）温度较低的粘合剂应在密封容器内加热至室温。可以的话，糊状的粘合剂应进行脱气处理。

12）涂抹粘合剂区域的湿度应低于40%，因粘合剂吸水，加热固化时产生水汽，阻碍化学反应，使接头连接多孔渗透。

13）对复合材料采用加热固化处理，连接强度高，耐热、耐湿效果好。

14）二次固化温度比首次固化温度要低，至少28℃（50℉）。如果不好实现，在固化时零件应排列整齐。

15）露在外面的复合接头边缘应采用橡胶或涂料密封。蜂窝状连接应采用不透气密封。

16）材料试样，具有相同的材料和与被粘物同样的接头设计，可以用来做测试。它们是从被粘物的材料上裁剪下来的。试样表面和被粘物表面应采用相同的表面处理和连接，并使用相同的粘合剂。

17）叠层结构的粘合剂必须和蜂窝状开孔芯连接，使表面有韧性并连续。必须仔细控制粘合剂的流动，避免流到泡孔壁上，产生低强度表面连接和超重的底面固定。如果两连接表面没有紧密贴合，固化时局部压力使粘合剂被挤出，会降低表面连接强度。通过在厚粘合剂薄膜内压入一层粗支纱稀平布或纤维网可以避免所有的粘合剂被挤出。

参考文献

[1] Lewis A, Gosnell R, Berg K, Chastain CE, Berry N: *Introduction to Adhesives Technology. Adhesives Digest*, 8th Edition, Reference book, Data Business Publishing, 1994.

[2] Petrie EM: *Handbook of Adhesives and Sealants*, Reference book (ISBN 0-07-049888-1), McGraw-Hill, 2000.

[3] *The Loctite Design Guide for Bonding Plastics*, *Vol. 4*, Supplier design guide, Henkel Corporation, 2006.

[4] *Rubber to metal bonding*. Rapra Review Report 87 (ISSN: 0889-3144), Rapra Technology Ltd, 1996.

[5] *Rosato's Plastics Encyclopedia and Dictionary*, Reference book (ISBN 3-446-16490-1), Carl Hanser Verlag, 1993.

[6] Thompson R: Assembly of fabricated parts. *Modern Plastics Encyclopedia 1988*, Reference book (M603.1), McGraw-Hill, 1987.

[7] Courtney PJ, Serenson J: Adhesive bonding of medical plastics: an overview. *Medical Plastics and Biomaterials*, Trade journal, Canon Communications, 1996.

[8] Schwartz MM: Joining polymer matrix composites and resin matrix-composites. *Joining of Composite Matrix Materials*, Reference book (ISBN 0-87170-514-1), ASM International, 1995.

[9] *Henkel Loctite Solution Guide*, Supplier marketing literature, Henkel Loctite Adhesives Ltd, 2005.

[10] Buchman A, Sidess A, Dodiuk H: Fatigue of adhesively bonded thermoplastics. ANTEC 1996, Conference

proceedings, Society of Plastics Engineers, Indianapolis, May 1996.
[11] *Adhesive Bonding—Science, Technology and Applications*, Reference book (ISBN 1-85573-741-8), Woodhead Publishing Ltd, 2005.
[12] Sivy GT: Compatibility of adhesives with thermoplastic regrind. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.
[13] Williams J, Scardino W: Adhesives selection. *Engineered Materials Handbook, Vol. 2: Composites*, Reference book (ISBN-13: 978-0871702807), ASM International, 1987.
[14] *Engineered Materials Handbook, Vol. 3: Adhesives and Sealants*, Reference book (ISBN-13: 978-0871702814), 1990.
[15] *Handbook of Adhesives and Sealants, Vol. 2: General Knowledge, Application Techniques, New Curing Techniques*, Reference book (ISBN-13: 978-0-08-044708-7), Elsevier Ltd, 2006.
[16] Billmeyer FW: Heterochain thermoplastics. *Textbook of Polymer Science*, Reference book (ISBN 0-471-07296-6), John Wiley & Sons, 1971.
[17] Tres P: Assembly techniques for plastics. *Designing Plastic Parts for Assembly*, Reference book (ISBN 1/56990-199-6), Hanser/Gardner Publications, Inc., 1995.
[18] Allen KW: Joining of plastics. Rapra Review Report 57, Review Report (ISBN 0-08-041964X), Rapra Technology Ltd, 1992.
[19] Tavakoli SM, Riches ST: Laser surface modification of polymers to enhance adhesion. Part 1—polyolefins. ANTEC 1996, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Indianapolis, May 1996.
[20] Haskell A: Bondability/compatibility of plasticized PVC to rigid, transparent thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.
[21] Mortimer J: Adhesive bonding of car body parts by industrial robot. *Industrial Robot: An International Journal*, 31 (5), p. 423, 2004.

第 18 章　机 械 连 接

18.1　概述

机械连接简单容易，目前仍是工业上使用最广泛的连接方法。最初机械连接用于连接金属，后来也用来连接塑料和其他材料。

工业上的连接主要分为两类：永久连接和非永久连接。螺钉是常见的非永久连接，可以移动、替换和重复使用。安装这些零件时要保证对齐，这增加了连接时间，同时也增加了成本。永久连接（像铆钉）直接和零件固定在一起，连接牢固，不会产生松动，因此永久连接使用越来越广泛[1,2]。

下面介绍几种不同的机械连接技术。

18.2　机制螺钉、螺母、螺栓和垫圈

机制螺钉、螺母、螺栓和垫圈是常见的非永久连接零件，连接的材料可以拆装数次，直至被连接的材料失效。材料失效是由于高压下拉伸应力产生的裂缝造成的。为了防止薄弱处局部应力开裂，还应施加一定的压应力[3]。

用于连接塑料的机制螺钉螺栓在螺钉头下面有一个平面（见图 18.1）。带有锥面的螺钉对塑料零件有楔入作用，因此有更高的拉伸应力。平头螺钉没有楔入作用，具有更高的压应力。此外，应该在固定端加圆形垫圈来分散压力[4,5]。

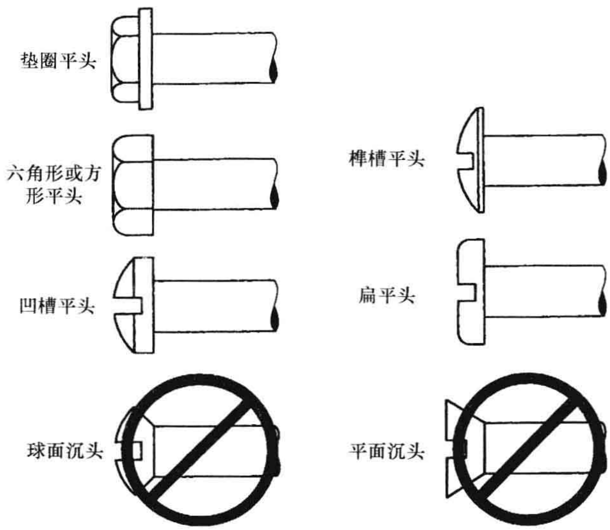


图 18.1　常用的螺钉和螺栓，优先采用平头的（来源：拜耳公司）。

被连接的零件应该有足够的径向间隙用来安装螺钉（见表 18.1）[5,6]。

表 18.1 机制螺钉推荐孔径

螺钉尺寸	孔径	
	in	cm
#2	0.096	0.244
#4	0.122	0.310
#6	0.148	0.376
#8	0.174	0.442
#10	0.200	0.508
#12	0.226	0.574
1/4	0.260	0.660
5/16	0.323	0.820
3/8	0.385	0.979

螺钉和螺栓穿过塑料零件在另一端用螺母固定。为了增加压应力，应使零件间间隙尽量小，必要时可以加垫片，有些零件上设计凸台并留出间隙以避免压缩产生高弯曲应力或扭曲变形。减小连接应力的凸台设计如图 18.2b 所示[7-9]。

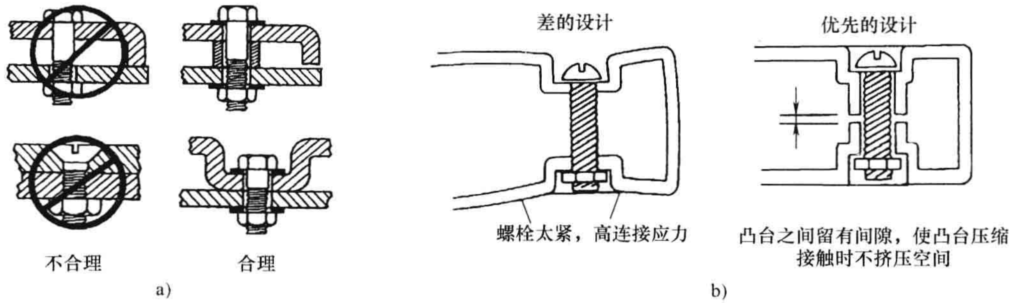


图 18.2 减小连接应力的凸台设计。
a) 使用垫片 b) 凸台之间留有间隙

压力太大会产生很高的装配扭矩，为了减少零件的压应力，可以使用低扭矩或大螺杆头或垫圈增加受力面积。在连接金属和塑料时，还可以使用带肩螺钉和台阶垫圈来减少压应力[7-9]。

18.3 自攻螺钉

18.3.1 概述

自攻螺钉安装在钻削或模制定位孔处，既可以钻入材料形成螺纹，又可以使材料变形形成配合螺纹。安装这种螺钉十分迅速，不需要螺帽固定。这种固定方式可以提供很大的连接力，但如果安装错误会导致螺纹破坏或降低拉脱力[1,8,10]。

18.3.2 优缺点

自攻螺钉是一种牢固低廉的机械连接方法。自攻螺钉不需要加工螺纹或螺纹嵌件，减少了成型和连接成本。自攻螺钉可以连接不同材料，且连接后可以拆开或重新连接，最多可以进行十次。连接处具有良好的抗冲击性能，并且可以处于零件表面以下。自攻螺钉可以快速实现等强连接，不需要粘合剂的固化时间，也不需要其他工具[11,12]。

然而，自攻螺钉接触处易造成应力集中，而且难以获得防渗密封。考虑到零件的美观，

连接的位置会受到影响，且螺钉的种类和大小问题都会增加存货成本[11]。

18.3.3 分类

用于塑料连接的自攻螺钉基本分为两类：螺纹成型和螺纹切削。下面将对两者做详细介绍。

18.3.3.1 螺纹成型螺钉

螺纹成型螺钉通过塑料的位移和变形来成型螺纹，塑料沿螺纹流动。没有材料从零件排出，可以实现无间隙配合，但内应力很大。因此，这种螺钉通常用来连接软塑料，弯曲模量小于1380MPa（200000psi）。螺纹成型螺钉连接可以拆装，且抗震性好，价格低廉。

18.3.3.2 螺纹切削螺钉

螺纹切削螺钉有一条很锋利的切削边，当螺钉旋入时去除材料。因此孔的深度应大于螺钉长度，应留出一段距离储存去除的物料，以避免螺钉卡在里面。这种类型的螺钉减少了内应力，更适合用来连接硬质材料，它们的弯曲模量在1380～6900MPa（200000～1000000psi）范围。

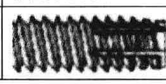
在固定纤维增强型塑料时，螺纹切削螺钉能够更好地啮合，夹紧力大，残余应力小。这些都容易造成固定失误。对于弯曲模量大于6900MPa（1000000psi）的质脆塑料来说，在旋入螺钉时，产生的颗粒会卡在螺纹间，使螺钉的拉脱力降低。为了解决这一问题，建议采用细牙螺纹。如果需要反复拆装，则应加入金属嵌件，但这会导致孔的尺寸增大。

由于会导致螺纹的脱落，很少重新装配螺纹成型螺钉，如果需要反复拆装，则建议先采用T形螺钉再换为标准螺钉。这种自攻螺钉适用于实心壁零件，不适用于发泡结构[1,5,7,11]。

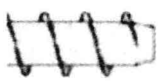
18.3.4 自攻螺钉的种类

自攻螺钉的种类、特点和用途见表18.2。

表18.2 自攻螺钉的种类、特点和用途

名称	螺钉类型	特点	用途	示意图
AB	螺纹压制成型	不包含切削槽，不产生切屑，60°螺纹角	模量小于2760MPa（400300psi）的材料	
B	螺纹压制成型	大的螺纹根径，螺距较小	设计用于木材和金属，但也可以用于热塑性塑料	
BF	螺纹切削成型	螺纹间距较宽，当拧入较软质材料时切削槽不易被堵塞	模量大于2760MPa（400300psi）的材料	
BP	螺纹压制成型	与B尺寸相同，但有一个锥形尖，便于与孔对中	模量小于2760MPa（400300psi）的材料	
BT	螺纹切削成型	见25型螺钉，最常见，宽的螺纹间距	模量大于2760MPa（400300psi）的材料	
D	螺纹切削成型	见1型螺钉，多用于现场替代	一般用途	
F	螺纹切削成型	钝的倾斜尖部，多切削边，有切屑腔	金属和塑料都可以用	

（续）

名　　称	螺钉类型	特　　点	用　　途	示意图
T	螺纹切削成型	见23型螺钉，螺纹间距小可减少产生颗粒	高模量，即大于7000MPa（101500psi）玻璃纤维增强材料	
Hi-Lo™	螺纹压制成型/螺纹切削成型	双头螺纹： 高螺纹30°；低螺纹60°	设计用于热塑性材料，由于高螺纹件塑料的接触面积增大，因而具有优异的抗拔出特性	
Trilobe™	螺纹压制成型	也称作Plastite，三角形宽间距螺纹 -单头 -双头 螺纹角45°~48°	耐防松特性提高，用于振动场合很理想	

自攻螺钉的选择要考虑零件的塑料类型和应用场合。例如，如果是用于防止震动，则应选择Plastite螺纹；若是用于减少薄壁凸台的周向应力，则应选用BT型螺纹。在固定一些特殊的塑料时，螺钉的选择主要取决于塑料的弹性模量[4,11]。

18.3.5 凸台设计

通常采用凸台来固定自攻螺钉。凸台的设计对零件的外观和自攻螺钉都有很大影响。凸台的尺寸由螺钉的类型决定，零件的壁厚必须足够大以吸收应变。此外也有些其他因素影响凸台的设计，如零件的位置、孔径、拔模角和角撑板[11,13]。

18.3.5.1 位置

零件上凸台的位置十分重要，凸台不包含在零件壁厚中，因为这将增加壁厚且导致节流，引起表面瑕疵。凸台必须通过加强筋附加在公称壁上（见图18.3）[3,11]。

18.3.5.2 角撑板

角撑板是修改的加强筋，通常是三角形的（见图18.4）。角撑板增加了凸台的强度，提高凸台横向和纵向的承载能力。角撑板的高度小于凸台的2/3，不影响插入螺钉时凸台的微小膨胀以消除应力，当螺钉尺寸大于或等于6mm（0.24in）时就应该使用角撑板[11]。

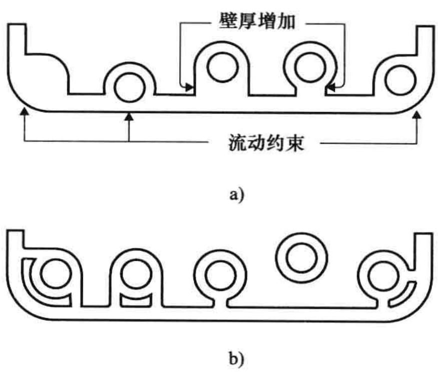


图18.3　凸台位置。
a）错误：凸台包含在侧壁内
b）正确：凸台与侧壁分离或通过筋连接

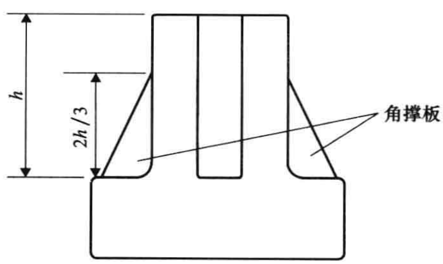


图18.4　角撑板的设计。

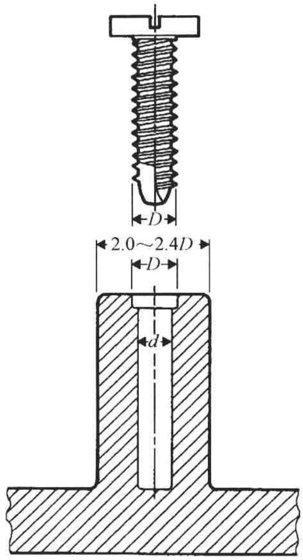
18.3.5.3 凸台尺寸

凸台的孔径是一个十分重要的尺寸，定位孔的深度必须和凸台壁的高度相等（见图 18.5）。孔太深会限制凸台表面材料的流动，孔太浅会使孔下面的材料冷却不均，产生银纹。为了避免螺钉螺纹施加载荷过大，孔的深度应稍大于螺钉的长度[11,14]。

螺钉旋入前孔的直径应等于螺钉的螺纹中径（见图 18.5），以获得高的脱落扭矩与驱动扭矩的比值。为了获得更大的脱落扭矩，可以使孔径稍微减小（大约为螺纹中径的 80%），特别是在使用螺纹成型螺钉的时候[5,10,13,15]。

凸台的外径一般为螺纹直径的 2 ~ 3 倍，如果直径太小，易产生裂痕，但如果直径太大，则无法增加脱落扭矩。为了避免产生银纹缺陷，凸台的壁厚应小于凸台底座公称壁厚的 70%（见图 18.6）。考虑到固体塑料零件的外观，凸台壁厚应小于凸台底座公称壁厚的 50%，对于厚壁发泡结构来说，应小于 80%[11]。

最后一个影响凸台设计的因素是螺钉长度。由于配合紧密，随着螺钉长度的增加，切削力矩显著增大，但当配合长度大于螺纹中径 2.5 倍时，切削力矩不再变大。增加配合长度可以显著增加拉脱力，而增加螺钉直径的效果甚微[10,13,14]。



螺钉尺寸	直径	
	d ±0.0005mm (±0.002in)	D ±0.0005mm (±0.002in)
#6	3.1mm(0.123in)	3.6mm(0.140in)
#8	3.7mm(0.145in)	4.2mm(0.166in)
#10	4.2mm(0.167in)	4.8mm(0.189in)
#12	4.9mm(0.191in)	5.6mm(0.219in)
1/4″	5.6mm(0.220in)	6.4mm(0.250in)

图 18.5 螺栓引导孔的设计。

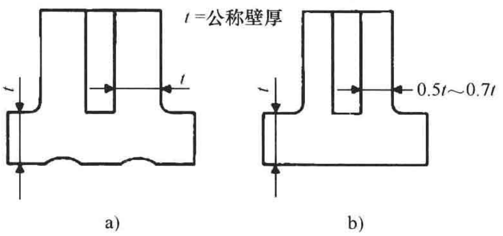


图 18.6 凸台壁厚设计。

a）错误的凸台设计：凸台壁厚大于公称壁厚的 70%　b）正确的凸台设计：凸台壁厚为公称壁厚的 50% ~70%

18.3.5.4 拔模角

拔模角是指凸台表面的切入程度。凸台内边的拔模角最小值为 0° ~0.5°，以保证螺钉的紧密配合。如果拔模角过大，会导致螺钉的端部配合过松，底部配合过紧，产生高应力。如果凸台的设计和底部壁厚不配合，端部将产生很大的环向应力，造成裂痕。

在选择用于带有拔模角的凸台螺钉时，通常用平均孔径来选择螺钉尺寸[11]。

18.3.6 扭矩

螺钉旋入的扭矩影响连接质量，使用自攻螺钉时常因为扭矩过大损坏零件。螺钉旋入时所需要的扭矩由凸台的横截面积和螺纹数决定。通常自攻螺钉的螺纹很多但螺纹配合长度很短，产生很大扭矩[6]。

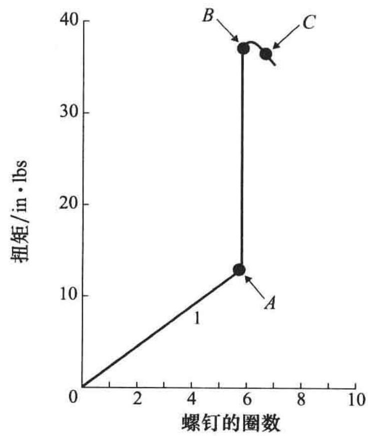


图 18.7 螺钉旋入时扭矩的变化。

图 18.7 为螺钉旋入时扭矩的变化图。由扭矩来剪切塑料形成螺纹（成型扭矩）并克服螺纹滑动摩擦阻力（摩擦扭矩）。这些最初的扭矩之和等于驱动力矩。驱动力矩随着螺钉的旋转和啮合深度的增加而增大至曲线上的 *A* 点。达到 *A* 点时，螺钉头部停止运动。随着扭矩的增加，塑料螺纹一直受压应力作用到 *B* 点，*B* 点时塑料螺纹所受的应力达到塑料的屈服点，螺纹开始脱落。*B* 点为脱落扭矩，扭矩作用使塑料凸台螺纹脱落。螺纹继续脱落直到 *C* 点，螺钉连接完全失效。通常采用 *A*、*B* 点之间的扭矩值将螺钉拧紧[10-12]。

为了减少螺纹脱落的可能性，脱落驱动比（脱落力矩与驱动力矩之比）要尽可能大。考虑到扭矩控制仪器的偏差（气动控制 ±20%，电子器件控制 ±3%），脱落驱动比应为5：1。技术熟练的工人手工操作，脱落驱动比可为2：1。润滑剂对脱落驱动比影响很大，应避免使用[10,11]。

自攻螺钉需要很大的拉脱力，拉脱力是指将螺钉从凸台取出的拉力。如上文所述，螺钉越长拉脱力越大，但不是成比例的。下面的公式说明了如何对给定材料计算合适的值，但这个公式并不总是正确的，只能作为参考。通常材料的剪切强度越高，拉脱力和脱落扭矩越大[10,11]。

脱落力矩（*T*）和拉脱力（*F*）可由下面的公式计算：

$$T = Fr\frac{(p+2fr)}{2r-fp}$$

式中 r——螺钉节圆半径；

p——单位长度螺纹数的倒数；

F——拉脱力；

f——摩擦系数，$f = S_s A = S_s \pi D_p L$；

S_s——剪切力，$S_s = \frac{S_t}{\sqrt{3}}$；

S_t——拉伸屈服应力；

A——剪切面积，$A = \pi D_p L$；

D_p——节圆直径；

L——全螺纹配合轴向长度。

18.3.7 模内成型的螺纹

多年来，模内成型螺纹是加工高强度塑料螺纹的主要方法。尽管现在更好的成型方法是压模嵌件加上粘合剂，但模内成型螺纹在一些场合下还在使用，特别是加工热固性塑料。热塑性塑料采用超声波装置。

用于连接的模塑螺纹可以在零件内部或外部。内螺纹的加工采用模具内的旋下机构，外螺纹的加工采用分型线处的剖分模具（见图 18.8）。通常加工粗螺纹比细螺纹要容易，精细

螺纹难于充填，不能承受力矩作用。模内成型内螺纹的驱动功率比模内嵌件要小，比自攻螺钉的大，但其成本随着孔数增加而增高。模内成型的螺纹只在不频繁拆装时使用[4,8]。

螺纹根部和端部应该倒圆，便于填充模具和减小应力集中。通常模具成型螺纹的基准边应留下 0.076cm（0.03in）的空隙，螺纹不能超过这条边（见图 18.9）。有效的螺纹长度至少是螺纹节圆直径的 1.5 倍，内螺纹的壁厚至少是螺纹大径的 0.5 倍。螺纹根部应有圆角以避免应力集中[4,5,7,8]。

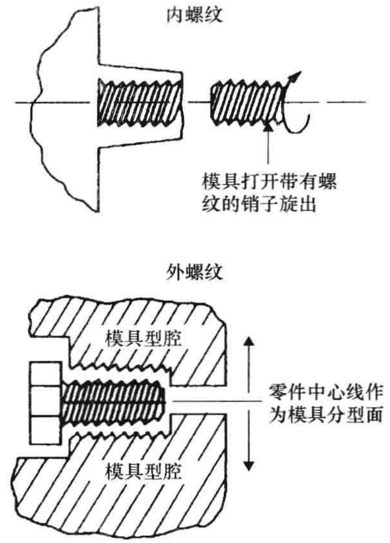


图 18.8 内螺纹和外螺纹。

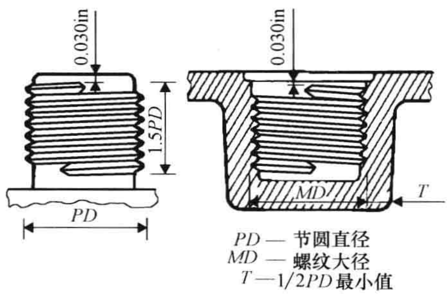


图 18.9 模内成型螺纹设计（来源：陶氏化学公司）。

18.4 嵌件

18.4.1 描述

嵌件通常是一些能够组装和拆卸的金属紧固件。在很多情况下，唯一可以替代它的是卡扣连接。嵌件也在连接长度不够，连接处不能得到好的力学性能时使用。它们用于结构发泡和其他剪切强度低，不能够单独承受紧固件载荷的材料[1,11]。

嵌件通过滚花、凹槽和插槽机械固定住，可以有效阻止轴向位移和角位移。

18.4.2 模内成型嵌件

嵌件可被直接成型到塑料制品上。首先将嵌件放到模具的销子上，随后将塑料注射到模具中，塑料流到嵌件外侧的凹处，这样当塑件冷却后嵌件也就被固定住了。模内成型嵌件方便了机械螺钉的固定，嵌件通常是用金属（如钢、铜和铝）做成的。大多数情况下，模内成型嵌件代表了市场上可见嵌件的抗扭和抗拉的最高水平。然而，当嵌件周围的塑料因为冷却而收缩时，它们承受着更多的残余应力。模内成型嵌件经常和热固性材料及橡胶一起使用，因为这些材料内部产生的应力低[1,16]。

模内成型嵌件有光滑的表面或者不同形状的滚花和凹槽（见图 18.10）。滚花可以设置

成纵向的或者环向的。环向滚花可以有更大的拉脱力，但可能导致在塑料中产生多余应力；纵向滚花提高了嵌件在扭矩作用下抗旋转的能力[6,11]。

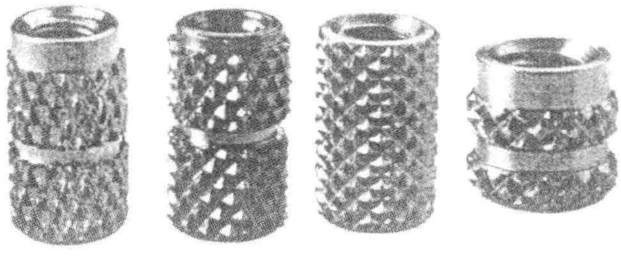


图 18.10 模内成型嵌件的实例。

嵌件上的所有尖角都应该去除，因为它们可以产生刻痕或者在塑料中产生应力集中区域；这些滚花上的尖角可以通过翻滚或喷砂去掉[6,16,17]。

模内成型嵌件内可能存在盲孔或者通孔。盲孔对于某些塑料来说是推荐的，它可以排除塑料进入螺纹的一些风险。盲孔应该是球形圆头的。

一些模内成型嵌件有变形螺纹以产生一个自锁机制。这些嵌件可以在零件振动的时候防止螺纹松动[17]。

18.4.2.1 优缺点

模内成型嵌件在成型时与零件合为一体的，这样就不需要再进行嵌入操作，成型后不再需要时间和劳力。嵌件使高聚物在滚花间很好地流动，连接件很容易拆卸。

缺点包括在嵌件周围的塑料中应力集中现象严重，且延长了成型周期，因为从成型到型腔中嵌件的定位中间需要停顿。如果嵌件没有正确的定位，除了产生废品外，还可能在成型过程中掉下来，能够对贵重的成型设备造成损伤。在成型过程中，塑料材料能够进入到螺纹中，在成型结束后产生必需的反复敲打的操作。如果将成型件回收造粒，则钢嵌件可能导致造粒机转子的过度磨损[18]。

18.4.2.2 凸台和嵌件设计

因为嵌件有很大的外表面积，能够分散加载在紧固件上的载荷，它们通常直接加在零件壁上而不使用凸台。不管是否使用凸台，嵌件顶面应该超过塑料制品的表面（见图 18.11）或至少与之持平，以避免螺纹上紧时嵌件被顶出[3,11]。

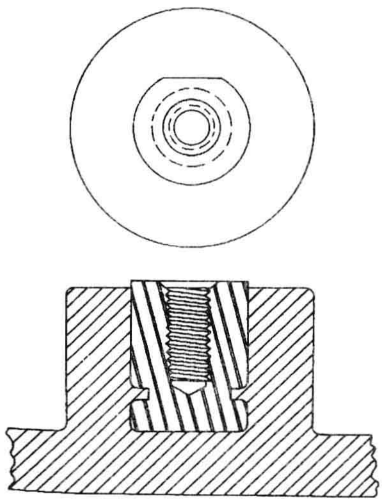


图 18.11 嵌件和凸台设计。

为嵌件设计的凸台与螺纹的相似。最重要的方面是壁厚，嵌件周围必须有足够的塑料来保持高强度。对钢、铜和铝制品嵌件的壁厚推荐值：壁厚和嵌件外径比分别为 1.0、0.9、0.8，推荐的壁厚可能会随使用塑料材料的不同而改变[11,15]。

对于需要密封件的应用来说，嵌件一端的环形空间或槽可以用来分配密封材料，如 RTV（室温硫化）橡胶、聚氨酯或环氧树脂。另外，嵌件可以涂上密封剂，最好抹在有凹槽的地方。柔性密封剂可以更容易地弥补金属和塑料之间的热膨胀系数的差异[14]。

18.4.2.3 影响模内成型嵌件的因素

外来物质：所有零件和表面应该清洁，不应该有不相容的化学品和微粒碎片存在[14]。

热膨胀系数：金属和塑料的热膨胀系数差别很大，即两种材料的膨胀量和收缩量不同。塑料的膨胀/收缩比金属的要大，因此在模内成型嵌件中产生高应力区域。为了克服早期失效，加厚凸台可以用来补偿高应力[19]。

如果组装零件暴露在热量循环中，模内成型嵌件在一些塑料制品中就不宜使用。如果使用在高温或低温的场合，铜和铝嵌件比钢嵌件更适用。这是因为在塑料和钢之间的热膨胀系数差比在塑料和铜或铝之间的要大。因此，在低温下产生更大的热应力，在高温下保持是成问题的[3,11]。

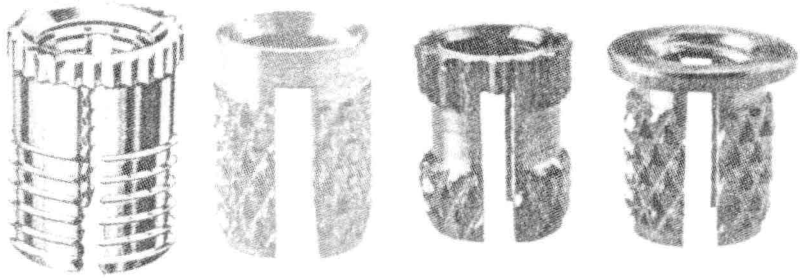
材料：模内成型嵌件用在半结晶材料中比在刚性非结晶材料中效果更好，例如 PC、PS 及 PEI；高蠕变与材料有关，低蠕变材料由于龟裂更可能失效[6]。

加工条件：加工条件可能影响模内成型嵌件的质量。例如，成型内嵌件的拔脱阻力对注射压力、注射时间和嵌件温度的变化非常敏感[20]。

当成型时使用内部润滑剂如低相对分子质量聚乙烯蜡或硬脂酸钙时，即使加载到了制造商所推荐的水平，保持功率也会明显减少[20]。

18.4.3 膨胀嵌件

膨胀嵌件的纵向槽在安装时塌陷，以允许嵌件进入预成型孔（见图 18.12）。一旦定位，嵌件就会被与嵌件一起的扩开板或者装配螺钉作用而膨胀。因为这些嵌件吸收了大部分装配力，它们用于不能承受很大的应力的塑料中[17,18]。



a) b) c) d)

图 18.12 膨胀嵌件。

a）多瓣叶片 b）菱形滚花 c）顶部带有直滚花 d）顶部带法兰

嵌件的表面结构包括滚花和叶片。叶片（见图 18.12a）一般用于热塑性塑料，菱形滚花（见图 18.12b）一般用于热固性塑料；选择主要取决于应用特性、安装要求、嵌件壁厚或者零件壁厚。顶部带有直滚花的嵌件（见图 18.12c）提供了更高的抗扭转力。有法兰顶的嵌件（见图 18.12d）在不需要和配合零件直接接触时使用[17,18]。

膨胀嵌件可以是金属（铜、不锈钢或铝）或者塑料。塑料嵌件通常由尼龙制成并且是注射成型的[17,21]。

膨胀嵌件的优点是它们能够提供一致的扭矩值和振动阻力，塑料嵌件不会凝固在螺纹上。装配起来很迅速，安装不需要特别的设备。缺点包括螺钉插入可能产生高环向应力，滚花间的材料流动性差，随着时间推移产生的凸台壁的应力松弛[11,17,21]。

18.4.4 热嵌件

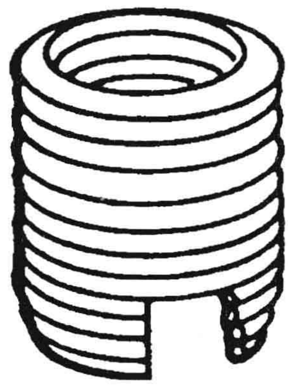
热嵌件加热后再嵌入到需要结合的塑料中。嵌件的温度使高聚物变得柔软，然后被压入到加工孔中。随着聚合物的冷却，在螺纹内和附近重新结晶，把嵌件固定住。一定不要过度加热聚合物，因为这样会导致局部塑料分解而使连接质量差[18]。

热嵌件的设计包括螺旋滚花和沟槽。滚花可以是同向或者反向的，反向的滚花能够提供更高的拉脱阻力和抗扭转力。传统上，不对称的嵌件一般能提供更大的拉脱阻力，然而随着对称设计新的发展，嵌件的性能提高了并且超过了传统的不对称嵌件[18]。

只要能够控制嵌件的温度，这种方法在零件中产生的残余应力就低。然而嵌件插入很费时间，会增加劳动力成本[11]。

18.4.5 自攻螺纹嵌件

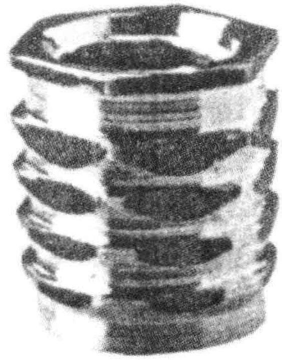
自攻螺纹嵌件有螺纹成型嵌件和螺纹切削嵌件两种，工作方式和自攻螺纹一样。同样，螺纹成型嵌件用于连接软塑料，而螺纹切削嵌件则用于连接脆性材料。用一个尺寸稍大的孔满足嵌件外径，嵌件性能对最初孔的公差很敏感，另外，孔太大会导致连接不牢，而孔太小会导致诱导应力和裂纹的产生。带粗螺纹和纵向槽或缺口的嵌件（见图 18.13）切入塑料材料，在塑料中产生相应的螺纹线。这些嵌件提供了很高的拉脱阻力，但是抗扭能力很差[18,22]。


图 18.13 自攻螺纹嵌件。

自攻螺纹嵌件很容易使用，而且因金属螺纹而坚固耐用。它们比膨胀嵌件要结实，有很好的拉脱阻力，但是它们只适用于标准螺钉，在塑料嵌件中只能提高有限的强度。其装配费时间，因此很贵。

18.4.6 形变和恢复嵌件

当带有叶片状、鳍状或者倒钩状结构的嵌件（见图 18.14）进入一个预成型孔时，嵌件取代了塑料材料，然后塑料流入到倒钩后面的凹槽，产生拉脱阻力。六角形结构提供抗扭力矩。这些嵌件大多数用于软的热塑性材料[17,18]。


图 18.14 形变和恢复嵌件。

18.4.7 超声波嵌件

超声波嵌件嵌入是一个可重复且需要控制的过程，带螺纹的嵌件被超声嵌入到热塑性部件中。这种嵌件设计带有凹槽、滚花和锯齿，所有的这些设计提供特别的扭矩力和拉脱力（见图 18.15）。

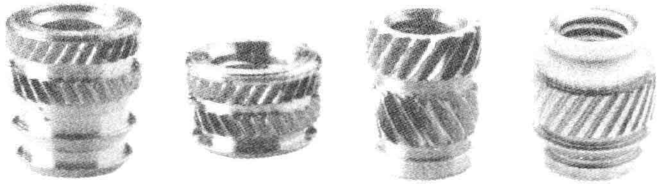


图 18.15 不同类型的超声波嵌件。

安装快速，且在产生最小应力条件下可以产生高的抗扭强度和稳定性。在嵌入过程中，在塑料部件上成型一个孔，这个孔引导嵌件定位，并且在嵌件和热塑性材料部件间产生阻力。超声波电极臂压在嵌件上，超声波振动在嵌件和热塑性材料间产生摩擦。产生的热量导致塑料熔融，嵌件陷入孔中（见图 18.16）。整个过程的时间一般不超过 1s[23-25]。

一般来说，当凸台外径是嵌件直径的两倍时可以获得嵌件的最佳性能。嵌件安装孔通常比嵌件外径小 0.38 ~0.51mm（0.015 ~0.020in），它可以是直孔或有 8°锥角（见图 18.17）。这个孔应该比嵌件长度要深，能够为多余的熔体提供一个料井，防止在嵌件底部溢料。嵌件的顶部应该是齐平的或者稍微超过凸台的上表面。如果嵌件在这个面之下，它可能会在螺纹上紧的时候被拉脱孔，这种情况有时称为“jackout”[4]。

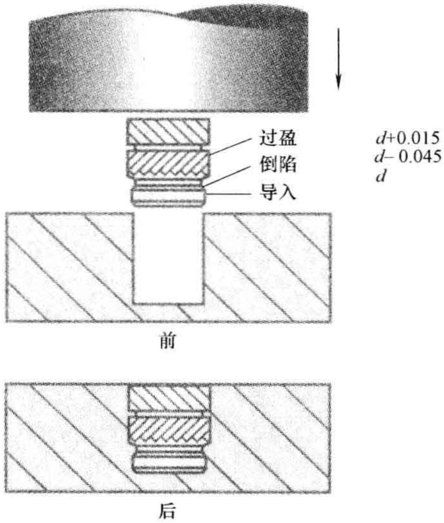


图 18.16 超声波嵌件示意图。

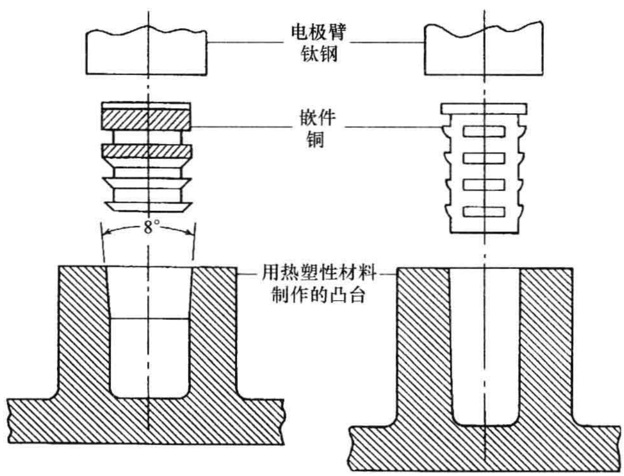


图 18.17 超声波嵌件的锥形孔和直孔。

超声波嵌件结合了传统模内成型嵌件的高强度性能和成型后安装的优点（包括周期短、

不损坏模具和嵌件插入模具的停机时间短），减少了成型周期。此外，在金属嵌件周围的塑料因为在嵌件周围产生均匀的熔体膜，只产生低的诱导应力，并且材料热收缩也很少。嵌入操作也允许多个嵌件同时驱动，对于自动化和高产量的操作来说十分理想。

超声波嵌件装配既可以通过电极臂来接触嵌件并把嵌件嵌入到塑料件中，又可以通过电极臂接触塑料制品并把制品压套到嵌件上。在装配过程中，后者的优势是减少了电极臂的磨损，且噪声低。如果电极臂必须接触金属嵌件，由于金属与金属接触的高度磨损，最好使用淬火钢电极臂。虽然可以使用钛材料的电极臂（因为它们有更高的拉伸强度能够承受更多应力），但是它们不能和耐磨的淬火钢相比[25]。

超声波嵌件的一般准则如下：

1）低振幅，以减少电极臂压力。

2）采用中压到高压以防止冷压入嵌件。

3）缓慢速度以使热塑性塑料软化。

4）预触发，以防止失控。

5）为防止电极臂和嵌件的耦合，电极臂端面直径应该是嵌件直径的3~4倍。

超声波嵌件选用铜来节约成本，选用不锈钢材料来抗腐蚀。嵌件允许用在锥形孔中，在安装前可以快速准确地进行对中；插入直孔中的嵌件有自动对中引导装置。对称嵌件既可以安装到直孔又可以安装到锥形孔中，不需要定位。

嵌件制品的典型应用包括眼镜合页、家用电器、电器外壳、手持电动工具、电脑外壳、电视机外壳和汽车零件。

18.5 过盈配合

18.5.1 描述

过盈配合也称为压配合、强制配合或者胀缩配合，一个刚性轴通过轴外径和孔内径过盈连接到一个韧性较好的轴毂孔或凸台孔中。轴上凸出的棘或者键可以用来产生过盈效果，或者将“挤压筋”添加到凸台的内孔。凸台顶部的金属环用来防止凸台的膨胀，大的凸台壁厚能够防止连接失效[8]。

塑料配件的过盈配合，可以通过在装配前冷却轴或者加热轴毂孔的方式变得容易，以减少过盈。然而，使用这些配合方式在设计时应考虑到工作温度，因为轴毂孔和轴的膨胀/收缩随着温度的变化而不同，可能会导致连接强度的变化[6,13]。

过盈配合很经济，只需要简单的工具。它可以连接同种材料或者不同材料的部件[6,7,13]。

18.5.2 设计

最大拉脱力通过在零件间产生最大的许用过盈来获得，这明显依赖于使用材料的强度。零件的几何形状和设计也必须保证产生的环向应力不能够超过塑料材料的许用应力[10]。

18.5.2.1 过盈极限的计算

对于厚壁的柱面来说，轴和轴毂孔间的直径过盈可以通过以下公式决定：

$$I = \frac{S_d D_s}{W}\left[\frac{W\mu_h}{E_h} + \frac{1-\mu_s}{E_s}\right]$$

式中 I——直径过盈，单位为 mm（in）；

S_d——聚合物的设计极限应力或者屈服强度，主要是轴毂，单位为 MPa（psi）（一个典型的带有热塑性材料的设计极限在 73℃（163℉）产生 0.5% 的应变）；

D_s——轴的直径，单位为 mm（in）；

E_h——轴毂材料的弹性模量，单位为 MPa（psi）；

E_s——轴的弹性模量，单位为 MPa（psi）；

μ_h——轴毂材料的泊松比；

μ_s——轴材料的泊松比；

W——几何因素，通过下面式子给出：

$$W = \frac{1 + \left(\frac{D_s}{D_h}\right)^2}{1 - \left(\frac{D_s}{D_h}\right)^2}$$

式中 D_h——轴毂的外径，单位为 mm（in）。

如果轴毂和轴的材料相同，即 $E_h = E_s$ 和 $\mu_h = \mu_s$，上式简化为

$$I = \frac{S_d D_s}{W} \times \frac{W+1}{E_h}$$

如果轴用的是高模量金属或者其他模量超过 3×10^4 MPa（4350000psi）的材料，一般过盈配合方程的最后一项可以忽略，简化为

$$I = \frac{S_d D_s}{W} \times \frac{W+\mu_h}{E_h}$$

许多塑料制品的最大直径过盈已经由塑料制造商根据不同的孔轴直径在特定温度下计算出来了。这些值都可以通过调整安全系数来减小，大多数采用 1.5 ~3 的安全系数。安全系数 1.5 被推荐用在未增强热塑性材料上，安全系数 3 一般用在增强聚合物中，其中考虑到制品缺陷和注射成型的低强度区，例如出现熔接痕或者接合线的情况[10,26]。

18.5.2.2 减少应力集中

过盈配合产生的高应力可以使零件对于化学制品和热影响更为敏感。为了减少应力集中，零件和嵌件应该保持洁净并远离所有不相容的化学药品。带有圆滑表面的嵌件会比带滚花嵌件产生更低的应力集中，嵌入的零件不应该装在接合线附近[4,6,7]。

18.5.3 应力松弛

粘弹性材料在恒定的应变下（如在过盈配合中）应力随时间逐渐下降。这种现象降低了装配强度，使得最初的过盈配合可能会松弛或者完全失效。应力松弛量取决于所用聚合物的特性，并受填料、添加剂、色料、增强剂、润滑剂、零件的初应力、环境条件（温度、湿度等）的影响[10]。

应力松弛的影响可以通过在轴上刻槽或滚花来减小。长时间的蠕变能导致塑料冷流进凹槽，所以过盈配合的强度可以维持[7]。

18.6　卡扣连接

18.6.1　描述

在卡扣连接中，两个部件通过一个成型在零件上的联锁结构连接。许多不同的结构都可以适应不同的部件设计。在卡扣连接中，零件上的突起部分（钩、螺柱、珠）在连接时插入到另一个零件上的凹孔或凹槽时会发生形变。所需的连接力取决于卡扣连接装置的设计，在承受短暂的连接应力后，卡扣连接可以防震并且通常没有产生应力[4,7,27]。

卡扣连接是最经济、快速、最流行的装配方法，因为不需要分离紧固件而降低制造成本，所以使用得越来越多。卡扣连接可以用来连接不同的塑料件或者连接塑料件和金属件，可设计成永久连接或反复拆卸。卡扣连接的应用范围很广泛，从钢笔帽、瓶盖到可拆除的汽车的零部件。

密封或防潮密封在一些设计中可能用到。卡扣连接比一些其他的机械连接方法需要更加注重工程设计，如果设计不当的话，可能在装配前、装配期间或者使用时失效。一些卡扣连接设计的应力分析可以手工计算完成；具有复杂几何形状的设计可能需要有限元分析来得到精确的结果[28]。

18.6.2　优缺点

卡扣连接不需要其他附加材料的引入，如粘合剂、紧固件或螺栓，因而成本更低，更容易组装，生产效率更高（可达60 个/min），并在许多情况下，只用最小的工具设备。卡扣连接对金属件和塑料件的连接效果更好。它们可以设计成一个永久的紧固装置，用于从零件外面很难连接的情况，或者也可以设计成反复拆卸的形式 。

卡扣连接易疲劳断裂，并且不能修复，常导致零件的整体失效。因此卡扣连接最好与韧性好且能够抵抗（热膨胀、潮湿、环境影响）松弛的材料一起使用。

18.6.3　卡扣连接的种类

卡扣连接主要有两种类型：悬臂梁型和圆柱形（环状）卡扣连接。其他的类型包括扭转型、滚珠承窝型、U 形、刀尖型、直接扣上或扣入型以及组合型。

18.6.3.1　悬臂梁型

悬臂梁式卡扣连接包括一个钩和槽的连接，其中一个零件的凸起与另一个零件的沟槽形成了联锁（见图 18.18）。对被连接材料来说悬臂梁的设计有更大的灵活性，在连接系统中产生低应力紧配合。这种设计最为常见，它很容易装配，连接保持性好，通常没有应力[10,28]。

18.6.3.2　环形结构

环形或圆柱形卡扣连接用来连接球状或者椭圆形零件，如笔与帽的连接和瓶与帽的连接。其中的一个零件在其周围有边或者凸起和其配合件的突起或槽相配合（见图 18.19）。组装后，零件不存在应力。环形卡扣连接时产生多向应力，使设计计算变得麻烦。

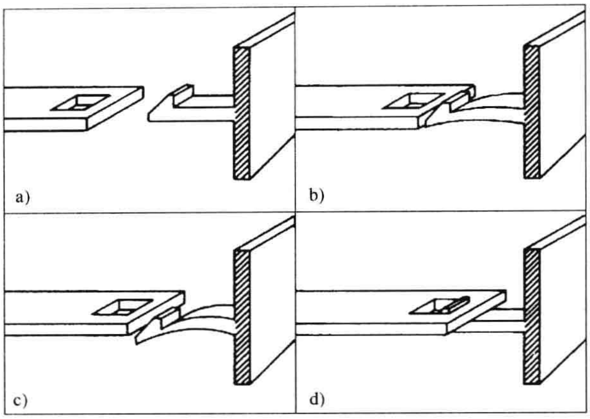


图 18.18　悬臂梁式卡扣连接。

a）组装前悬臂梁和配合件

b）刚开始接触时插销发生形变　c）插销达到最大形变

d）插销进入到配合件的孔中，恢复到形变前的状态

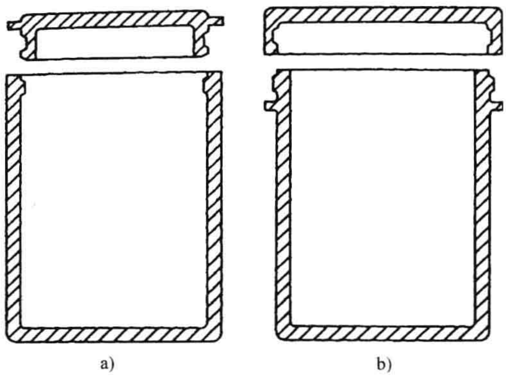


图 18.19　环状卡扣连接。

a）在公称壁上设计有凸起

b）在公称壁上设计有凹槽

18.6.4　材料

在卡扣连接设计中所用材料的性质可以影响到零件的性质。当零件用在阳光下时，为了保持美观和力学性能，需要紫外线稳定剂来保持零件的颜色。

温度的变化可能会导致两个不同的配合零件以不同的速率膨胀/收缩，这取决于各自的热膨胀系数。对于不同的塑料零件来说，膨胀/收缩率变化系数为 2；而对于塑料/金属零件，膨胀/收缩率变化系数为 5 ~ 10。装配的操作温度应该在设计时予以考虑[28,29]。

18.6.5　设计

用于卡扣连接的材料应该有高的耐应力开裂性能，尤其是处在化学环境中。只有含少量重磨百分比的材料可以用在卡扣连接中，因为重磨会降低塑料的力学性能[28]。

卡扣连接设计的一些原则（见图 18.20）如下：

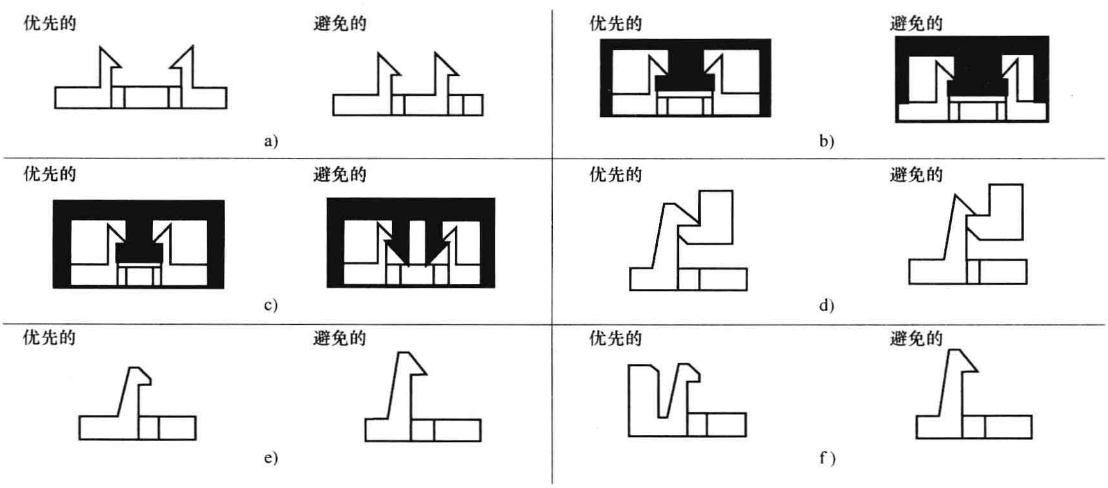


图 18.20　卡扣设计。

1）当使用多重卡扣连接时，卡扣啮合方向应设计成彼此相反的（见图 18.20a）。

2）配合件周向的支撑件或导向件消除了卡扣上的剪切负载，但剪切负载只能沿一个方向工作（见图 18.20b）。

3）每个卡扣设计只能有一个柔性元件（见图 18.20c）。

4）最大程度的卡扣啮合使公差的影响最小，设计允许啮合边缘因使用而磨损（见图 18.20d）。

5）挠度极限设计可以在嵌入或移除时防止过应变（见图 18.20e）。

6）在碰撞特性很重要的场合，卡扣的刚度应进行多重设计。脱扣力应该超过配合件重量的 900 倍（见图 18.20f）。

18.6.5.1 模具考虑

在设计卡扣连接时就应考虑各个成型问题。有些卡扣连接设计要求复杂、昂贵的模具，但设计往往可以进行修改，以允许使用简单的模具。图 18.21a 展示的悬臂钩或锁拴的设计需要在模具中开槽（见图 18.21b）。从模具中移出零件而不破坏钩子是很困难的。可以使用带有可拆卸型芯的模具或者使用带有用于形成凹槽的滑移装置的模具，但是很昂贵。另一种卡扣连接设计钩子朝向零件外部（见图 18.21c），这样零件就比较容易从模具上取出，降低了模具的复杂性和成本。另一种方法是在钩子下零件的壁上开孔，方便装卸（见图 18.21d）[27]。

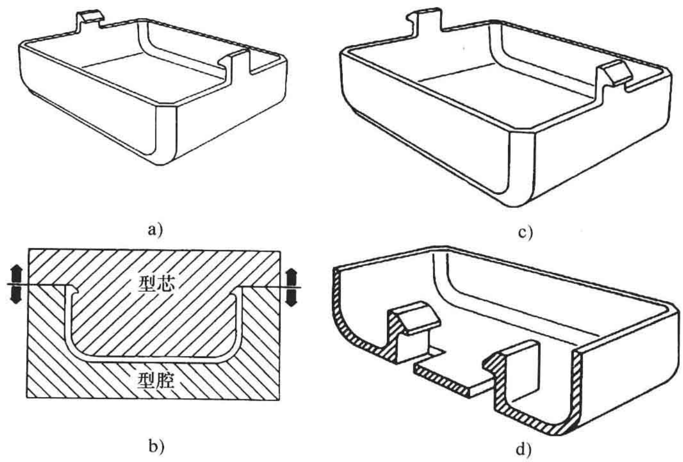


图 18.21 卡扣连接的模具设计。

a）悬臂卡扣连接需要在模具中开一个槽 b）带槽的模具设计 c）插销面朝外的改进设计 d）零件壁的工艺孔的设计简化了模具设计，零件更容易顶出

18.6.5.2 悬臂卡扣连接

图 18.22 中展示了一个带有不变矩形截面的悬臂梁设计。梁的挠度变形量以及与变形和装配相关的力可以用卡氏第二定理中线性化偏微分方程来计算：

$$y = \partial U / \partial P$$

式中 y——形变；

U——梁的弯曲能；

P——挠度力。

传统的悬臂梁理论假设梁的一端被固定，其挠度只取决于弯曲应力[7,30]。

18.6.5.2.1 许用挠度

在图 18.22 中，等厚矩形悬臂梁的许用挠度等于槽的高度 y，取决于梁的厚度 h 和长度 l 还有材料的许用最大应变 ε[7]：

$$y=\frac{2\varepsilon l^2}{3h}$$

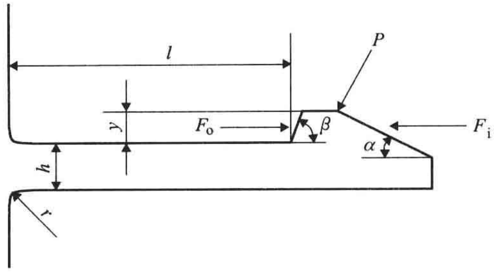


图 18.22 悬臂式卡扣连接（来源：英国焊接研究所有限公司）。

因此，能够承受更高短期应变的材料可以产生更大的挠度而不受损坏；损坏用残余挠度来表达，即挠度变形结束时剩余的初始挠度相对于总挠度的百分数。在单一的、短暂的挠度变形时，部分结晶材料的应力水平非常接近屈服点；非结晶塑料可能达到约 70% 的屈服应力。玻璃纤维增强材料的许用应变通常没有明显的屈服点，约为一半的断裂伸长率。许用应变的特殊值通常可以从材料生产商那里得到。反复装配和拆卸的许用应变值低于永久装配的许用应变值（大约为永久装配值的 60%）。然而，因为大多数材料在初始挠度变形后就开始发生破坏，因此针对单次装配的计算数据再加上安全系数就可以对反复安装/拆卸的卡扣连接性能进行合理地估计[4,7,27]。

工件从模具顶出或者工件在装配时都不应超过许用挠度值。一个等厚梁的许用挠度可以通过增加梁的长度或者减少其厚度来增加，因为公式中有平方项故增加长度更有效果。一般来说，挠度应小于或等于梁的一半长度[7,27]。

如果对许用挠度方程重新调整，可以为特定槽或者挠度计算出最大应变 ε。如果应变过高，则减少梁的厚度或者挠度、增加长度来使其减少到可以接受的水平。梁的长度与厚度的比值对许用应变很重要；随着长度/厚度比值下降，特定悬臂梁的许用应变增加。悬臂梁的典型的长度/厚度比值为 5.4[27]。

18.6.5.2.2 挠度力

挠度力 P 使得悬臂梁弯曲挠度等同于槽的高度 y，其值可以从梁的几何形状和材料的正割模量（E_s）计算出来：

$$P=\frac{bh^2}{6}\times\frac{E_s\varepsilon}{l}$$

式中 b——固定端梁的宽度，与所加力的平面垂直[7]。

正割模量是应力应变曲线上某一点的应力与应变的比值（见图 18.23）。它用于悬臂梁理论计算而不是弹性或正切模量（E_s）计算，能够得到更精确的挠度估算值和瞬间应力、高应力应用值。由于塑料应力应变曲线的非线性特征，用弹性模量预测的材料韧性低，因此计算出的挠度比在装配过程中的实际挠度要小。用来确定正割模量的应变应该是用来确定许用挠度的许用应变

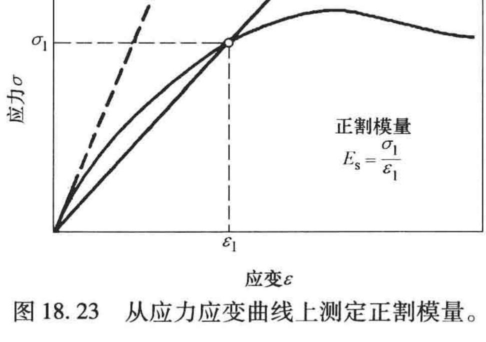


图 18.23 从应力应变曲线上测定正割模量。

(ε)。如果材料应变超过曲线线性区域则不推荐使用，如果应力应变数据对于梁的设计条件来说不可用，应该将弹性模量和挠曲系数用于计算中[7]。

18.6.5.2.3 接合力

接合力或者装配力（F_i，见图18.22）是卡扣啮合所需的力，它取决于挠度力、插销或者钩子的导入角 α 和塑料材料的摩擦系数 μ：

$$F_i = P\left[\frac{\mu + \tan\alpha}{1 - \mu\tan\alpha}\right]$$

摩擦系数的值取决于安装速度、安装压力和零件的表面质量。表面越粗糙，摩擦系数就越高[7]。

18.6.5.2.4 拆卸力

在设计用于拆卸的卡扣连接时，拆卸力可以用接合力公式来计算，将公式中的导入角用回复角或者拉出角 β 代替（见图18.22）。角度可以改变，来增加或减少组装或拆卸所需的力。导入角（或回复角）越小，安装（或者拆卸）所需的力就越小。当回复角接近90°时，扣件自锁。角度可以调节，这样安装或者拆卸力可能比挠度力大或者小[7]。

18.6.5.2.5 应力集中

用有限元分析获得的等截面悬臂梁的应力线（见图18.24a）说明了应力不是均匀分布的而是在根部集中的。为了减少这个区域的应力集中可能导致的连接失效，可以增加根部半径（见图18.25）或者可以在设计时加一个肋。

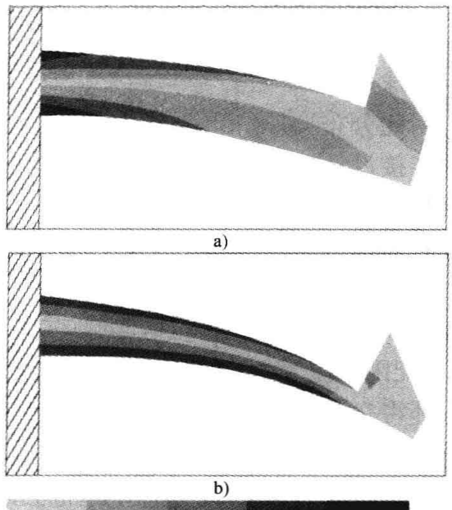


图18.24 用有限元分析的悬臂梁的应力等高线。
a）等厚梁 b）带锥度的梁

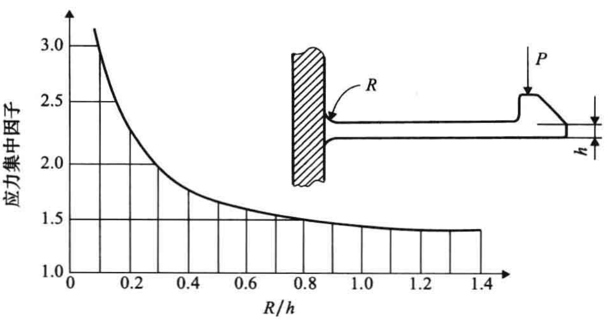


图18.25 悬臂梁固定端圆角半径与梁的厚度比对应力集中的影响。

图18.25展示了增加根部厚度对应力集中的影响。尽管最佳的根部直径高度比为0.6，这个直径将在梁和零件壁间产生厚的区域，可能导致凹痕或者空隙。为了避免这种现象，厚度不应该超过名义壁厚的50%~70%，试验表明半径不应该小于0.38mm（0.015in）[3,10,27]。

18.6.5.2.6 带锥度的悬臂梁

在从固定端到自由端带锥度梁上应力能够更均匀地分布（见图 18.24b）。成型悬臂梁可以在施力面（高度或厚度）或者在施力面垂直的面（宽度）做成锥形，梁的厚度做成锥形就会有更大的柔韧性。锥度梁（见图 18.26）比具有相似挠度和装配力的直梁要柔顺得多。梁的厚度为其固定端的一半时许用挠度比直梁增加 60%。50% 锥度是最佳的，因为固定端太厚会产生残余应力，而自由端太薄难以成型且在卡扣连接时容易破坏[27]。

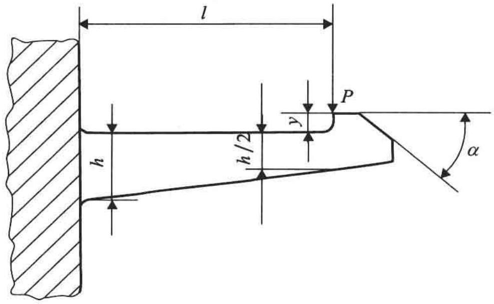


图 18.26 具有 50% 锥度比（厚度方向）的悬臂梁。

由于锥度梁几何形状的变化，锥度梁的等式要进行修改。为了避免每次设计都用积分微分方程，先算出不同自由端/固定端的比例常数 K。改变后的计算最常见的锥度梁（厚度比为 50%）的许用挠度方程变成[4,30]

$$y = 1.09\,\frac{\varepsilon l^2}{h}$$

比例常数只有当厚度或宽度改变时可用。针对其他截面和锥度的悬臂梁方程可以在参考文献［4］中找到。

18.6.5.3 环形卡扣连接

环形卡扣连接的装配力很复杂，因为装配时轴上的球形扣件（珠）会使轴毂孔或者管孔膨胀量很大；装配应力因此分布在材料的大部分区域。轴毂和轴的弹性对于环形卡扣连接设计很重要。一般来说，轴应该是刚性的，轴毂则是弹性的；其他设计，如弹性轴刚性轴毂或者轴和轴毂有同样的柔性，都是可以的[4]。

环形卡扣连接的壁厚应该均一，以避免应力增加。理想形状是圆形，非圆形的环形卡扣连接难以从模具顶出且装配困难。成型中由熔接痕、浇口的紊流或者空隙产生的薄弱点都将在装配时引起凹槽裂纹。熔接痕可以通过改变设计方案或移动浇口来避免，也可以用珠或者肋来加强熔接痕附近的截面[10]。

如果装配无法承受大的轴向负载，可以在卡扣连接中使用插槽。对需要频繁安装拆卸的零件可以使用深的凹槽，然而带槽的卡扣连接的保持力更低。图 18.27 展示了一个例子。

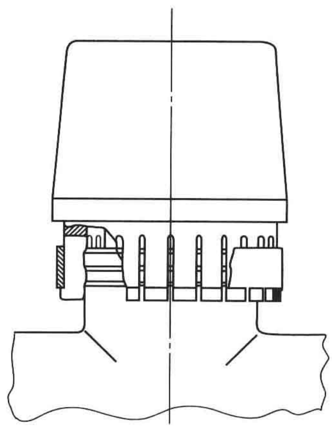


图 18.27 带槽的卡扣连接的例子：恒温箱箱体连接到散热器阀上，使用一个金属环确保不脱落。

18.6.5.3.1 许用挠度

环形卡扣连接中最大的凹槽或者挠度 y 取决于材料的最大应变 ε_A 和轴毂或者管的直径 d：

$$y = \varepsilon_A d$$

圆柱形状许用挠度应该减少 50%（见图 18.28）[4]。

环形卡扣连接可以是持久的或者易于拆卸的，取决于珠子的尺寸和回复角。永久的、不

分离的设计需要对零件顶出使用分型腔模具[4]。

18.6.5.3.2 挠度力

轴毂附近连接的挠度力 P 取决于凹槽深度 y、连接直径 d、正割模量 E_s 和说明零件材料刚度的几何因素 X：

$$P = ydE_sX$$

决定几何因素的等式和表格可以在参考文献［4］中找到。

18.6.5.3.3 接合力

接合力或者装配力 F_i 与悬臂梁相似：

$$F_i = P\left(\frac{\mu + \tan\alpha}{1 - \mu\tan\alpha}\right)$$

式中 μ——材料的摩擦系数；

α——导入角[4]。

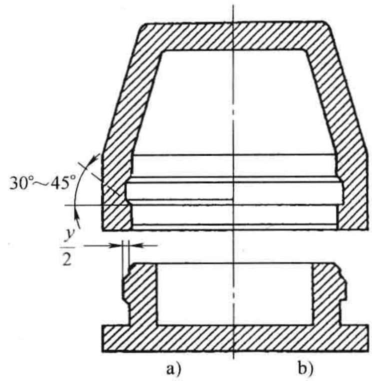


图 18.28 环形卡扣连接。
a）可分离型 b）永久固定型

18.7 铆接

18.7.1 描述

铆接是一种半永久性的机械连接方式，它包括一个一端有头的光滑圆柱轴，头的另一端叫做大尾端。把它放进预钻的孔内，然后尾部发生变形，以至于它膨胀到原来轴径的 1.5 倍。铆接轴周围的空隙应该大点以方便嵌入，但是要足够低以防止装配件的滑移。图 18.29 展示了一般的铆接头。尽管铆接主要用于连接金属件，但是它们也可以连接塑料件。

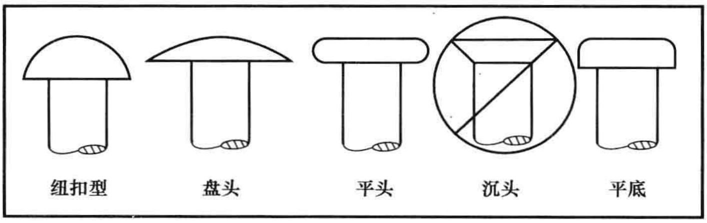


图 18.29 常用的铆接头，沉头避免用于塑料。

铆接固定能够在塑料件中产生高的应力。并且，铆接头越大，负载被分散到更大的区域，应力越低。在铆接易产生裂纹的一端下面装有垫圈，以减少高应力和局部应力。带凸肩的或者铝制铆接件在高应力下变形，限制了加载在零件上的力。为了控制压缩应力，操作者需要确保安装工具校准到准确的长度[5,6]。

塑料铆接（如 Marson PR-75K）也是可用的。这些是用尼龙精密成型的，用来连接塑料与塑料、玻璃纤维或者金属。这种产品为汽车和航天工业提供了高性能、低重量的替代品。

18.7.2 优缺点

铆接连接与螺纹连接相比，它可以大量高速装配，成本经济。铆接对振动的敏感性比螺钉和螺栓要差。

然而铆接的拉伸强度和疲劳强度都比螺栓螺纹要低，由于制造量大所以尺寸精度低。铆接也能导致零件裂纹产生，其一个普遍缺点是装配松，但是可以用更短的铆接或者更厚的垫圈来校正[1]。

18.8　铆合

18.8.1　描述

铆合是一种专门用于连接用不同材料制成的零件（如塑料和金属）。塑料制品带有凸起以配合另一个零件上的孔。凸起在经过冷流或者熔融塑料的时候产生变形，形成一个头，可以机械地将两个零件锁住（见图18.30）。铆合是一种快速经济的技术，并且消耗比铆接螺纹更少。铆合只用来连接热塑性制品，PS、ABS、SAN、丙烯酸类树脂、PC、PA、聚甲醛、PPO、PP、PE和PPSO通常使用铆合方法[31]。

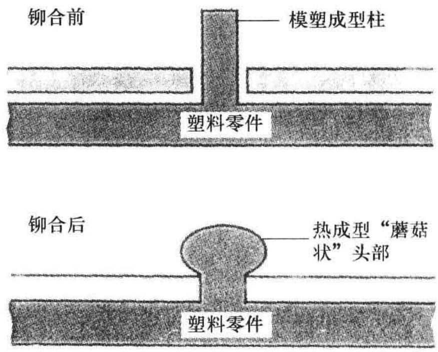


图18.30　铆合的原理。

18.8.2　优缺点

铆合可以用来连接不同材料的制品，只要求其中一种是热塑性材料。铆合方式安装很快，零件可以卸载以供回收使用，工具成本很低。然而，由于连接制品材料的热膨胀系数不同，连接也会变松。

这种连接方式的连接是永久性的，缺乏美观性。

18.8.3　冷铆合

冷铆合，也称作“打头”，用高的压力作用，超过塑料的屈服极限，使其形成头状。铆合的这种形式最适合于高延展性的热塑性材料（如聚甲醛和尼龙），而不是脆性或易碎材料，因为压力通常会引起这些材料的破坏[31]。

冷铆合的工艺应该考虑到：零件壁下对着螺柱要有良好的夹具支撑；铆合压力机中用一个限位件可以防止破坏；柱子底部圆角半径要大，以消除剪切应力；孔的尺寸公差要小，以防止脱落；应仔细选择材料。当装配很紧时，不宜使用冷铆合[31]。

18.8.4　热铆合

热铆合包含了加热探头的使用和轻压至中等压力来使柱子压缩变形，也是产生一致结果的经济性工艺，产生的应力也比冷铆合要低[31]。

在热铆合设计中要注意如下因素：

1）柱子直径，取决于材料和它的可塑壁厚；ABS和PC柱子直径一般是1～2mm（0.04～0.08in）。2～6mm（0.08～0.24in）的设计一般用于发泡结构。

2）柱子伸出配合件的高度应该是其直径的1.5～3倍。

适当的探头、柱子、头部几何尺寸（见图18.31）也随着不同的场合而改变。平头探头

最容易制造和维护。如果柱子头的美观很重要，可用凹形探头；使用这些探头需要尖端有机加工凹槽。十字形柱子或空心凸台推荐用于高强度配合，并尽量减少注射成型大柱子或者厚壁件表面的凹痕。如果需要凸台孔用于其他连接，比如自攻螺纹或者嵌件，可以用一个圆花形的探头顶端从中空凸台探出张开。

控制工艺参数得到好的结果在热铆合中是很重要的。这些参数包括温度、压力、循环时间。

铆合温度取决于连接的塑料件；典型压力应小于或等于7MPa（1000psi）；循环时间为1~5s[31]。

图18.32展示了热铆合机械的例子。

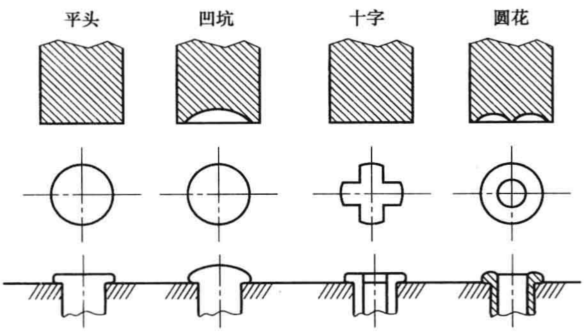


图18.31 柱状头几何形状和探头顶端。

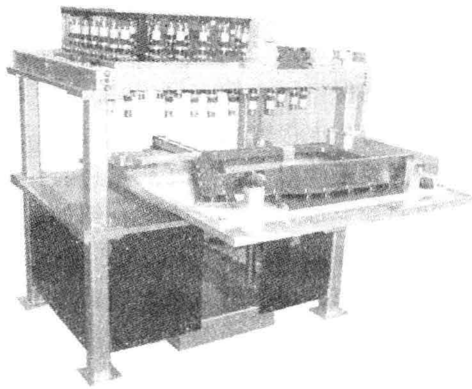


图18.32 野马吉普四门热铆合系统（来源：热压国际）。

18.8.5 热空气铆合

热空气铆合也被称为热气铆合、热铆合或热空气/冷铆合，热以热蒸气的方式作用于柱子，通过一个管道直接到柱子的上面或者侧面（见图18.33）。一旦柱子熔化或软化，冷铆合探头就降到柱子上，并将其压缩，形成了一个柱子头，塑料固化和冷却后，冷铆合探头缩回。冷铆合探头的设计影响着柱子头的最终形状（半球形的、裂开的、滚花的或张开的）。可以同时热空气铆合大量的柱子头，即使它们的大小、高度和形状都不同[18,31,32]。

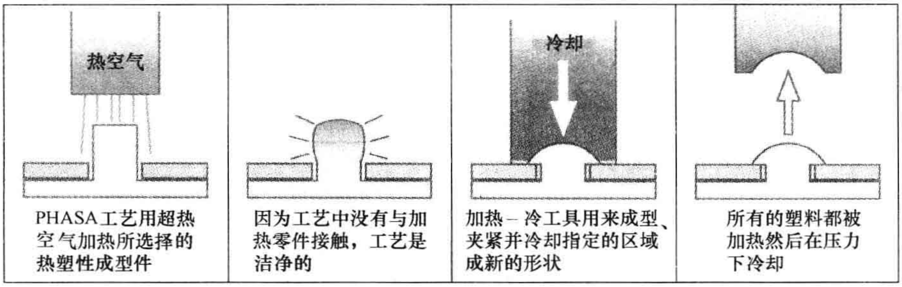


图18.33 图解显示了热空气铆合的一些基本原理（来源：Phasa有限公司）。

18.8.6 超声波铆合

在超声波铆合中，热塑性材料的柱子用超声波的能量熔融，然后变形，和另一个不同的

材料机械地锁住。超声波铆合的优点包括循环周期短（一般小于2s）、紧凑的装配不易恢复、重复性好、设计简单。

超声波铆合在用于软的低熔体流动性非结晶材料时效果更好，可以通过机械和热机理方式形成铆接头。超声波铆合用于高熔融材料或者需要高振动振幅的熔融材料时，熔体可以快速流动，流出电极臂外，产生不完整的铆接头[33,34]。

铆合的零件设计取决于装配零件的材料、装配强度、铆接承受的负载（拉伸，剪切）、外观的重要程度，不考虑铆合件是否在零件内，也不考虑是否需要多重铆合。合适的铆合设计应该具有最佳的强度，并且只有很少的甚至没有飞边。高振幅电极臂、电极臂和柱子间的最小初始接触面积、受控的电极臂减速使超声波振动发生在局部区域，产生小的初始接触力，结果使熔融加快，周期变短。慢速的执行机构能够防止柱子断裂并允许熔融物料进入电极臂腔，高的保持压力使强度增加。预触发（电极臂触及柱子前开始超声波振动）导致产生异相波，防止电极臂/柱子耦合。该方法要求柱子正确安装，并且从下面可靠地支撑以确保与电极臂腔正确对齐，这样能量将会作用到电极臂/柱子的界面，而不是作用到整个塑料装配件和夹具上。多种设计方案介绍如下[23-25，34]：

标准的圆环形铆合（见图18.34）用于直径为3.2～4.0mm（0.125～0.156in）的柱子。该成型柱子顶部平坦，熔融从电极臂腔的延伸点开始。生产的柱子头尺寸是其直径的两倍，满足了大多数铆合应用的需要。标准轮廓的铆合用于软质的热塑性材料，不应该用于直径超过4.0mm（0.156in）的柱子[34]。

圆头的铆合（见图18.35）推荐用于直径3.2mm（0.125in）或更小的柱子，当多重铆合时，电极臂的对中是个问题，圆头的铆合也可用于玻璃填充或矿物质填充的材料。熔融最初在锥型柱子的顶部（锥形顶部），其中锥顶尖首先发生熔融，降低了通过柱子传递的能量。顶端和零件将自动对齐，使得调整不像标准轮廓铆合那样困难，并且，圆头铆合有着良好的外观。圆头铆合顶端比起标准轮廓的铆合来说对磨料的磨损更不敏感，如有必要，可予以纠正，比起用倒置的铆合锥凿腔来说更简单[34]。

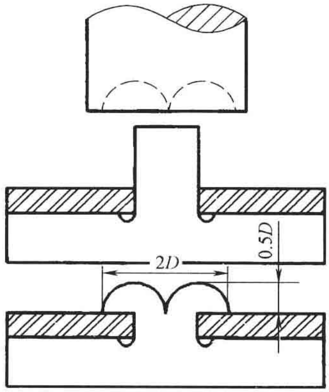


图18.34 超声波铆合用的标准轮廓铆合。不带阴影的区域是热塑性塑料，带阴影区域是不同的材料，一般是金属（来源：布兰森超声波公司）。

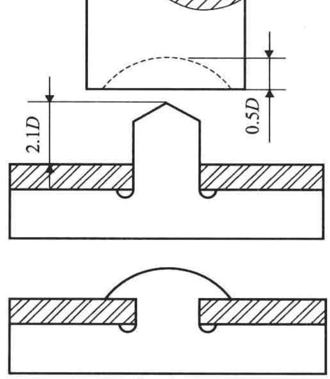


图18.35 半球形超声波铆合（来源：布兰森超声波公司）。

型面高度不大的铆合（见图 18.36）与标准轮廓铆合差不多，但是铆合头部的高度不同。头部高度降低缩短了循环时间，当空间狭小时很有效，但是铆合强度低[34]。

带滚花的铆合（见图 18.37）很简单，用手持焊接工具可以很快装配好，在外观和强度要求不严格时用于热塑性材料。没有带尺寸的电极臂腔，可以在不关心精确对中和柱子直径的情况下进行多重铆合。

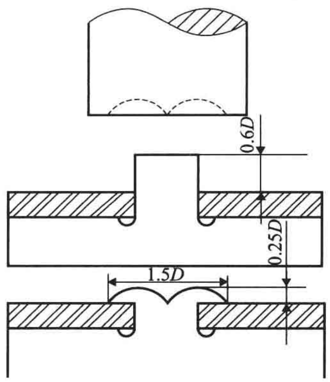


图 18.36 低轮廓高度超声波铆合（来源：布兰森超声波公司）。

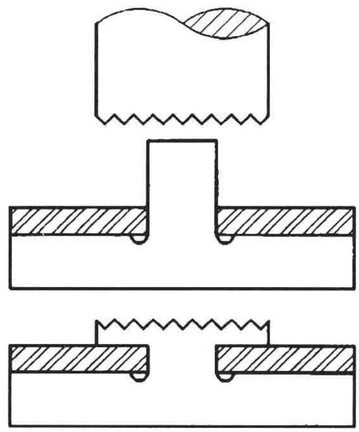


图 18.37 带滚花的超声波铆合（来源：布兰森超声波公司）。

齐平铆合（见图 18.38）用于柱子头不允许高出连接件表面的场合，且连接件要有足够的厚度来开凹槽。齐平铆合使用于圆头铆合的锥形柱子、平端面电极臂，连接件有用于容纳熔体的沉孔[34]。

中空铆合（见图 18.39）用于柱子直径大于或等于 4.8mm（0.19in）的情况。中空柱子能够防止成型产生的表面下陷和内部空隙。铆合中空的柱子不必熔融太多的物料就可以产生很结实的头部，这在拆卸维修时很有用。修理时可以移除成型的柱子头以接近内部部件，再装配时，驱动一个自攻螺纹进入内径[34]。

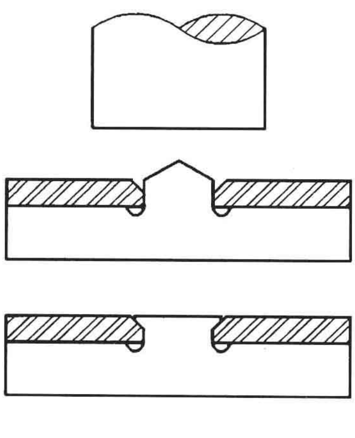


图 18.38 齐平超声波铆合（来源：布兰森超声波公司）。

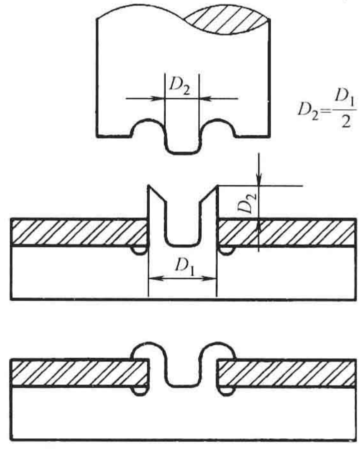


图 18.39 中空超声波铆合（来源：布兰森超声波公司）。

任何铆合结构的设计中，柱子基部的过渡圆角半径都有助于消除过高的应力集中，应力集中会使柱子底部产生焦烧或者裂纹。柱子和孔的配合很关键。柱子直径和孔径间的间隙可以让材料流入空隙，使成型头的材料减少。配合应该尽可能地紧，或者加入过多的料以补偿损失。

一种超声波铆合的替代方法被称作高压成型或冷成型，也可以用于弹性材料（如 IPS、PE、PP 和 ABS)。在该方法中，柱子的顶部在没有达到熔融温度时就已经成型。聚碳酸酯和聚甲醛用这种方法效果也不错[34]。

18.8.7 红外辐射（IR）铆合

IR 铆合与超声波铆合和热空气铆合相似，但是产生的热影响区更小，不产生任何加工痕迹。

IR 铆合通常有两种方式：单动和双动模式。前者中，红外线通过一个在型腔顶部的特殊玻璃透镜，决定着铆合的最终形状。然而，由于透镜一般是由玻璃或者石英做成的，直接与熔融塑料接触，这种模式由于工具的磨损过多，不宜对含有填料的塑料使用。对含有填料的塑料应使用双动模式。成型工具和 IR 源在分开的零件中，在整个过程中需要两种运动，增加了循环周期（见表 18.3)。

表 18.3 典型 IR 铆合周期时间

步骤	典型的 IR 铆合时间/s	
	单动过程	双动过程
安装零件	3~10	3~10
压力驱动	1~2	1~2
IR 射线应用	3~15	3~15
成型工具的应用	—	1~3
保持阶段	1~3	1~3
零件卸载	5~10	5~10

18.9 模锻

在模锻中，一个零件上有筋，用工具使其嵌入另一个部件中，不形成分子键。可以用加热工具或者超声波成型（见图 18.40)。

超声波模锻比用加热工具方式要快，它使用预触发方式，振动的电极臂只要碰到筋立即开始熔融物料。

模锻的主要优点是模具简单，因此比那些需要柱子或者槽的方式更便宜。

超声波模锻最适合加工的材料是那些中低刚度的材料，如 ABS、IPS、PE 和 PP。然而，尽管难度较大，这项技术也可以用于刚性材料。

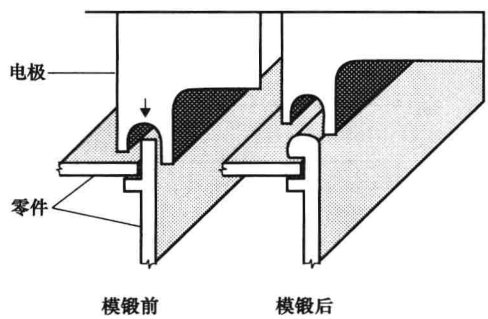


图 18.40 超声波模锻的原理。

参考文献

[1] *Fastening & Joining Technology*, Machine Design, Trade journal (910- 059), Penton Publishing Inc., 1993.

[2] Mayer RR, Gabriele GA: A design tool based on integral attachment strategy case studies. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

[3] *Makrolon Polycarbonate Design Guide*, Supplier design guide (55-A840 (10) L), Bayer, 1988.

[4] Assembly methods, *Engineered Materials Handbook*, *Vol. 2*, *Engineering Plastics*, Reference book, ASM International, 1988.

[5] *Makrolon Polycarbonate—A Guide for Joining Techniques*, Supplier design guide (55-A664 (10) C), Bayer, 1987.

[6] Festa D, Cakmak M: Influence of glass fibers on the spin welding of thermotropic liquid crystalline polymer. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

[7] *Calibre Engineering Thermoplastics Basic Design Manual*, Supplier design guide (301-1040-1288), Dow Chemical Company, 1988.

[8] *Designing with Celcon Acetal Copolymer*, Supplier design guide (95-303/5M/1295), Hoechst Celanese, 1995.

[9] *Noryl Design Guide*, Supplier design guide (CDX-83D (11/86) RTB), General Electric Company, 1986.

[10] *DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module 1*, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

[11] *Techniques: Fastening Thermoplastics with Screws and Inserts*, Supplier technical report (BPC-8723), Borg-Warner Chemicals Inc., 1986.

[12] Dratschmidt F, Ehrenstein GW: Polymer thread joints under dynamic load. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

[13] *Cycolac ABS Resin Design Guide*, Supplier design guide (CYC-350 (5/90) RTB), General Electric Plastics, 1990.

[14] *Valox Design Guide*, Supplier design guide (VAL50C), General Electric Company, 1986.

[15] *Ultem Design Guide*, Supplier design guide (ULT201G (6/90) RTB), General Electric Company, 1990.

[16] *Celanex Thermoplastic Polyester Properties and Processing* (*CX-1A*), Supplier design guide (HCER 91-343/10M/692), Hoechst Celanese Corporation, 1992.

[17] *Standard Insert Threaded Inserts for Plastics*, *Supplier marketing literature* (*SI-296*), Penn Engineering & Manufacturing Corporation, 1994.

[18] Besuyen JA: Bonding and Sealing, *Modern Plastics Encyclopedia 1992*, Reference book (M603. 1. 2), McGraw-Hill, 1991.

[19] Lokensgard E: Time lapse effects on pull-out resistance of threaded inserts in polypropylene. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

[20] Lokensgard E: Effects of process conditions and internal lubricants on the pull-out resistance of threaded inserts in polypropylene. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

[21] Kolibar RW: Mechanical Fastening . *Modern Plastics Encyclopedia—1986—1987*, Reference book (ISSN 0085-3518/86), McGraw-Hill Inc., 1986.

[22] Thompson R: Assembly of Fabricated Parts . *Modern Plastics Encyclopedia 1988*, Reference book (M603. 1), McGraw-Hill, 1987.

[23] Wolcott J: Recent advances in ultrasonic technology. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plas-

tics Engineers, New York, May 1989.

[24] *Hot Plate Welders*, *Ultrasonic Welders*, *Spin Welders*, *Vibration Welders*, *Thermo Stakers*, *Leak Testers*, Supplier marketing literature (GC1095), Forward Technology Industries Inc., 1995.

[25] *Guide to Ultrasonic Plastics Assembly*, Supplier design guide (403-536), Dukane Corporation, 1995.

[26] Tres PA: Press fitting. *Designing Plastic Parts for Assembly*, Reference Book (ISBN 1/56990-199-6), Hanser/Gardner Publications, Inc., 1995.

[27] *Techniques*: *Snap-fit Latches*, Supplier technical report (BPC-8998), Borg-Warner Chemicals, Inc., 1986.

[28] Tres PA: Snap fitting. *Designing Plastic Parts for Assembly*, Reference Book (ISBN 1/56990-199-6), Hanser/Gardner Publications, Inc., 1995.

[29] Larson RF, Larsen GC: The next generation of PC software for traditional and FEA snap-. t design. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

[30] Larsen GC, Larson RF: Parametric . nite-element analysis of U-shaped snap-fits. *ANTEC 1994*, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

[31] O' Malley MP: Staking. *Modern Plastics Encyclopedia—1986—1987*, Reference book (ISSN 0085-3518/86), McGraw-Hill Inc., 1986.

[32] *A Guide to Plastics Assembly*, Supplier design guide, Phasa Developments, 2002.

[33] Grewell DA, Frantz JL: Amplitude control in ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

[34] *Ultrasonic Staking*, Supplier technical report (PW-6), Branson Ultrasonics Corporation, 1996.

第2部分 材 料

第19章 聚 甲 醛

19.1 综述

Hoechst Celanese：Celcon

Celcon 聚甲醛聚合物的成型零件可以用多种方法很容易地连接。结晶聚合物允许加载在装配件上，长期结构载荷的最高工作温度在空气中为 104℃（220℉）在水中为 82℃（180℉）。但是，必须小心以确保装配的设计不损害阳模工件和阴模工件，这样可以降低冲击强度等力学性能。

参考文献

Designing with Celcon Acetal Copolymer，Supplier design guide（95-303/5M/1295），Hoechst Celanese，1995.

巴斯夫：Ultraform

Ultraform 部件可以通过加热方法（热接触和辐射），也可以通过超声波、振动和旋转焊接法进行焊接。然而，对 Ultraform 高频焊接不可行，因为会产生低的介电损耗。

激光照射焊接方法适合将能透过红外辐射的 Ultraform（如自然色）成型部件连接到能不同程度吸收红外线的 Ultraform（如包含炭黑的）成型部件。因此，可以产生很干净的无飞边焊接接头。

超声波焊接更适用于要求短的焊接时间和能整合到全自动生产线的情况。有加热元件的焊接方法最结实。

参考文献

Ultraform in Processing，Supplier design guide，BASF Aktiengesellschaft.

19.2 热工具焊接

泰科纳：Hostaform

热板焊接对于 Hostaform 共聚物注射成型零件的连接是一种成功的方法，并且不受颜料和添加剂的影响。这种方法对于产生机械应力的连接、大的连接面或者特殊形状不能用其他方法的情况特别适用。

热板的温度应该在 220～240℃（428～464℉）之间。加热时间约为 5～30s，取决于零件的形状和所用的特定 Hostaform 共聚物零件的熔料粘度。

参考文献

Hostaform Acetal Copolymer（POM），Supplier design guide，Ticona，2000.

卡迪拉克塑料与化学公司：Cadco

Cadco 聚甲醛部件可以通过快速的熔接达到强度高、持久、密封和耐压连接。为了完成熔接，部件连接表面轻轻地贴着热金属表面。其温度为 288℃（550℉）时，接触时间是 2～20s，取决于连接处的几何形状。当表面开始熔融时，加热工具被移除，熔接的表面很快合在一起，并且在较小的压力下保持。这个过程可以用来形成达 12.7mm（0.5in）宽的焊缝，更宽的连接部位应该在接触移动时可以互相剪切以排除空气，保证好的连接强度。

一般来说，搭接接头优先于对接接头。接头周围均匀出现的焊珠或飞边表明焊接质量好。必要时，通过接头周围的开放式法兰来容纳从接头溢出的熔融物料。飞边也可以通过机械方法去除。铝制的加热工具质轻、耐腐蚀，并且有很高的导热性。工具表面应该涂一层聚四氟乙烯不粘层，以防止熔融树脂的串粘和粘附。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide (CP-200-92), Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

19.3 超声波焊接

杜邦：Delrin

Delrin500 的制品比高熔融粘度的 Delrin 100 制品更容易焊接。两者剪切接头相差不多，但是对接接头有很大的不同。Delrin 570 材料含有玻璃混合物，也可以用超声波焊接。大气的水分不会影响到制品的焊接。

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

Hoechst Celanese：Celcon

在超声波焊接技术中，电能转化成大约 20kHz（使用得最广泛）或 40kHz（用于小型、精致配件）的振动能量，然后能量放大并传输到与机器接触的配件上。振动零件与静止的另一个零件摩擦，产生摩擦热迅速熔化其表层。几乎是瞬间粘合，粘接强度接近 Celcon 共聚甲醛拉伸强度的 100%，尤其是当使用剪切接头时。这样的接头焊接是通过熔化最初小的接触区域，然后沿着部件连接的垂直壁面控制界面继续熔化来完成的。过盈量选取指南见表 19.1。这种方式产生很结实的结构密封，熔化的界面可以完全填充配合件间的空间。

表 19.1 Celcon 聚甲醛超声波焊接的剪切接头过盈量选取指南

部件最大尺寸/mm（in）	单边过盈量/mm（in）	零件的尺寸公差/mm（in）
<18（0.75）	0.2～0.3（0.008～0.012）	±0.025（0.001）
18～35（0.75～1.5）	0.3～0.4（0.012～0.016）	±0.050（0.002）
>35（1.5）	0.4～0.5（0.016～0.020）	±0.075（0.003）

一旦建立了适当的工作条件，几乎所有的 Celcon 聚甲醛产品都可以用超声波焊接。但是，玻璃增强级的却只具备非增强等级的粘接强度，这是因为玻璃在部件的配合表面几乎不延伸。“翘曲”（扭曲）在平的圆形部件超声波焊接时有时会发生。这通常可以通过增加壁厚或者内部支撑肋来消除。减少焊接时间也有帮助。

部件设计和质量的控制、焊接放大器（"电极"）的合适放置和设备的维修保养都对获得一致的可再生的粘接至关重要。也应该指出这种方法对于具有相似的或者接近的熔融特性和化学兼容性的连接件是最有效的，即连接 Celcon 聚甲醛共聚物本身。

参考文献

Designing with Celcon Acetal Copolymer, Supplier design guide (95-303/5M/1295), Hoechst Celanese, 1995.

卡迪拉克塑料和化学公司：Cadco

用 Cadco 聚甲醛制成的部件可以用传统的超声波焊接设备成功地焊接。一个频率为每秒钟 20000 次的振动通过一个叫做电极臂的特殊工具传到连接件的表面。振动引起材料薄膜在连接表面熔化，振动停止后在压力下进行固化并形成焊缝。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide (CP-200-92), Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

杜邦：Delrin

润滑油和色料对焊接都会产生负面影响。当焊接设备设定的工艺条件用于无色料的部件时，会产生高质量的焊缝，而用于有色料的部件时，焊缝质量会显著降低——反映在焊接强度降低，脆性增加。色料的存在会影响接头处的加热方式。通常，焊接有色料零件比无色料零件时间更长但是质量要差。然而，这些更长的焊接时间可能会产生不良影响，例如形成过多的焊接飞边，损坏焊接电极。染料染色系统的应用对超声波焊接无太大影响，提供了替代的解决方案。

超声波焊接中由于颜料造成的不利影响，也存在于外表或内部混有润滑剂和脱模剂材料的焊接。这种材料相对的数量少，也会对焊接过程中连接处的生热产生负面影响。在无润滑成型材料中，如果喷上脱模剂，这些部件都应该在焊接前彻底清洁。

参考文献

Ultrasonic Welding of Delrin Acetal Resin, *Zytel Nylon Resin*, *Lucite Acrylic Resin*, Supplier technical report (171), DuPont Company, 1972.

19.4 振动焊接

杜邦：Delrin

所有级别的 Delrin 都适合振动焊接。Delrin 500F 的效果最好，Delrin 100 稍微差一些。由于 Delrin100 材料高的伸长率，其零件上的焊缝通常是最脆弱的区域。用 Delrin 玻璃填充树脂成型的零件在焊缝处不损坏，但是在尖角处会损坏，因为此处的伸长率很低。同时必须记住染色的组分焊接强度比同级自然色的组分要低。

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

19.5 旋转焊接

杜邦：Delrin

作为首选近似值，Delrin 的圆周焊接速度应该在 3 ~ 5m/s 来选择，然后调整压力，在

2～3s的焊接时间内得到所需的结果。

聚甲醛类的塑料熔融温度范围窄，一旦工具与制品相互接触就不应再进行旋转了。如果两部件间的压力太低，那么旋转体就会旋转过长时间，随着塑料固化，材料会被剪切失效，产生很脆弱或者漏的焊缝。

一旦材料熔化了，需要一定的时间再固化，所以保压一段时间很有必要，这取决于塑料的类型，最好通过试验来确定。Delrin 大约是 0.5～1s。

出现飞边不仅取决于塑料类型，还有它的粘度和填料。例如 Delrin100 会产生纤维状的熔融物，而 500 则带熔融飞边。

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

泰科纳：Hostaform

经验表明 100～300m/min（5.5～16.5ft/s）的摩擦速率在 0.2～0.5N/mm²（29～73psi）恒压下效果最好。

参考文献

Hostaform Acetal Copolymer (POM), Supplier design guide, Ticona, 2000.

卡迪拉克塑料与化学公司：Cadco

当正确安装后，旋转焊接可以很快产生强度高、持久的和密封的焊缝。旋转焊接通过旋转零件表面产生相对另一零件的高速度来实现。当熔融的聚甲醛膜形成后，相对运动也停止，焊缝在一定压力下固化。旋转焊接在自动操作设备下达到 60 次/min 的情况下可在 1～2s 内完成。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide (CP-200-92), Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

19.6 热气体焊

卡迪拉克塑料与化学公司：Cadco

Cadco 聚甲醛的大型零件可以通过热气体焊接来实现。一个热氮气焊枪、压力调节器、聚甲醛焊条和适当的夹具与固定装置是必需的。使用氮气层来避免氧化从而影响焊接强度。焊枪出口处的温度大约为 332℃（630℉）。在最大连接强度的情况下，两个零件都应被焊接，焊条应该加热到能使连接表面熔化的程度。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide (CP-200-92), Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

19.7 激光焊接

聚甲醛

这一小节介绍对箱体进行三维焊接的试验结果。使用波长为 940nm 的二极管激光器。激光束的尺寸为 1.5mm×1.5mm（0.059in×0.059in），激光头固定在六轴机器人的延伸臂

上。焊接过程的分析全部采用标准的试验设计。研究的参数是激光器功率、激光速度、焊接压力。低的吸收层包含少于0.1%的炭黑。

激光移动速度为20mm/s（0.8in/s），只要12s就可以完成焊接。低的能量密度（1.5J/mm^2）产生最低的脉冲压力。增加能量密度把脉冲压力增加到最大（能量密度为3.25J/mm^{2}时最大）。再提高能量密度，脉冲压力就会再次减少。推断一旦激光密度变得很大的时候，部件就会分解，影响到焊接质量。

参考文献

Haberstroh E，Luetzeler R：3-D laser transmission welding. ANTEC 2003，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Nashville，May 2003.

巴斯夫：Ultraform

合适的用于激光焊接的Ultraform元件见表19.2。

表19.2 适用于激光焊接的Ultraform产品元件

传 输 件	吸 收 件
N2320 003	W2320 003 sw 11020 oder sw 120
S2320 003	W2320 003 sw 11020 oder sw 120
W2320 003	W2320 003 sw 11020 oder sw 120

参考文献

Transmission Laser-Welding of Thermoplastics，Technical Information（WIS 0003 e 01.2001），BASF Aktiengesellschaft，2001.

19.8 溶剂焊接

杜邦：Delrin

Delrin部件可以用六氟异丙醇进行溶剂焊接。不需要进行表面粗糙处理，焊缝比用标准的粘合剂要牢固得多。

参考文献

Delrin Design Information，Supplier design guide（L-10464），DuPont，2003.

泰科纳公司：Hostaform

六氟丙酮可以用于溶剂粘接Hostaform。通过这种溶剂获得的粘接强度比用传统的粘合剂粘接效果要好。Hostaform成型件用六氟丙酮进行溶剂粘接可以抵抗住高达10MPa（1450psi）的压力。

应该注意六氟丙酮酒石酸锑钾是有毒的，它释放出刺激呼吸道的气体，因此只能用于排气罩下。

参考文献

Hostaform Acetal Copolymer（POM），Supplier design guide，Ticona，2000.

卡迪拉克塑料和化学公司：Cadco

Cadco BA-410粘合剂适用于连接Cadco聚甲醛塑料。

参考文献

Cadco Acetal，Supplier technical report，Cadillac Plastic and Chemical Company.

19.9 粘合剂粘接

杜邦：Delrin100

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm(0.03in)，横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表19.3中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表19.3中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表19.3 采用乐泰公司的粘合剂对 Delrin 100 聚甲醛和聚甲醛进行粘接的剪切强度［单位：MPa（psi）］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
非填充树脂 30rms	0.7 (100)	1.4 (200)	11.7 (1700)	3.5 (500)	0.3 (50)	1.7 (250)
粗加工的 47rms	1.0 (150)	4.1 (600)	11.7 (1700)	3.5 (500)	0.7 (100)	1.7 (250)
抗氧剂 0.2% 抗氧化剂1010	0.7 (100)	2.8 (400)	11.7 (1700)	3.5 (500)	0.3 (50)	1.7 (250)
UV稳定剂 0.2% Tinuvin 328， 0.4% Tinuvin 770	0.7 (100)	6.2 (900)	11.7 (1700)	3.5 (500)	0.3 (50)	2.1 (300)
冲击改性 30% Estane 5708F1	0.7 (100)	2.4 (350)	11.7 (1700)	3.5 (500)	0.3 (50)	2.4 (350)
润滑剂 3.88% N，N′-乙烯双硬脂酸胺蜡	0.7 (100)	2.4 (350)	11.7 (1700)	6.2 (900)	0.3 (50)	3.1 (450)
玻璃纤维填充剂 20% 3090型玻璃纤维	0.7 (100)	7.6 (1100)	19.3 (2800)	7.6 (1100)	0.3 (50)	2.1 (300)
PTFE填充剂 15% PTFE MP1300	0.7 (100)	1.4 (200)	11.7 (1700)	0.7 (100)	0.3 (50)	1.7 (250)
着色剂 4% 3972着色剂	0.7 (100)	1.4 (200)	11.7 (1700)	3.5 (500)	0.3 (50)	1.7 (250)
抗酸剂 1.5% Markstat AL-12	1.0 (150)	12.1 (1750)	11.7 (1700)	7.6 (1100)	0.3 (50)	1.7 (250)

（续）

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/ Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
聚甲醛共聚物 含 Hoechst Celanese 的 Celcon 优先级	0.3 （50）	0.7 （100）	2.1 （300）	0.7 （100）	1.4 （200）	1.4 （200）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：当 Prism 401 瞬间粘合剂与 Prism Primer 770 一起用来连接时，可以达到聚甲醛制品的最高粘接强度。HysolE-214HP 环氧基树脂粘合剂、Hysol 3631 热熔粘合剂、Hysol U-05FL 尿烷粘合剂、Super Bonder 414 瞬间粘合剂和乐泰 3030 粘合剂的粘合强度次之。Depend 330 和 5900 法兰密封胶对均聚甲醛的粘接强度是最低的。另外均聚甲醛加入抗静电添加剂再用 Prism 401、Prism 4011 或者 Super Bonder 414 瞬间粘合剂会有效提高粘接强度。

表面处理：表面粗化对聚甲醛均聚合物没有影响或有效地提高粘接强度。Prism Primer 770 和 Prism 401 瞬间粘合剂共同在连接中的应用会提高均聚甲醛和共聚甲醛的粘接性。

其他数据：聚甲醛表面容易干燥，所以有必要用一个加速器来加速氰基丙烯酸酯粘合剂的固化。均聚甲醛与所有的乐泰胶、密封剂、底漆和活化剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

泰科纳：Hostaform

由于具有高抗溶剂溶解的能力，Hostaform 不能与传统粘合剂混用。压力敏感型粘合剂的连接是其唯一可能适用的方式。为了获得高的粘接强度，必须对表面进行预处理。合适的选择有腐蚀剂处理、外表涂漆或电晕放电。

在表面彻底预处理完后，可能用到以下粘合剂：

1）接触粘合剂：聚氯丁二烯和氯腈酸盐交联剂。

2）双组分粘合剂：环氧树脂、聚氨酯、丁腈橡胶/苯酚树脂、丙烯酸酯。

3）热熔粘合剂：乙烯基共聚物。

4）单组分聚合粘合剂：超能胶。

参考文献

Hostaform Acetal Copolymer (POM), Supplier design guide, Ticona, 2000.

聚甲醛

聚甲醛可以用厌氧粘合剂和超能胶粘接。磨损会有帮助。如果用超能胶粘接，还要用 Permabond POP 底漆。

参考文献

The Engineers Guide to Adhesives, Supplier design guide, Permabond Engineering Adhesives.

卡迪拉克塑料和化学公司：Cadco

Cadco 聚甲醛的不粘附性和抗溶剂溶解性需要零件表面在粘接前进行特殊预处理才能产生。然后表面可以粘到基片或者其他材料（如木材、钢和铝材）上。

粗化技术如用 280A 砂布打磨和研磨 Cadco 聚甲醛表面就很有效。“打磨”是由杜邦公司为 Delrin 聚甲醛研发的化学刻蚀工艺。在这个工艺中，弱酸性溶液会在表面产生均一的定位点。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide (CP-200-92), Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

杜邦：Delrin 100

Delrin 聚甲醛树脂的粘合剂粘合通常限制于低剪切力的模型上。这是因为大部分粘合剂的剪切强度都只有 Delrin 聚甲醛树脂的 2% ~10%。最好的粘合需要特殊的粗化步骤，如“打磨”或者用 280 砂纸研磨。打磨产生最佳粘接点。

参考文献

Delrin Design Handbook for Du Pont Engineering Plastics, Supplier design guide (E-62619), Du Pont Company, 1987.

巴斯夫：Ultraform

为了激活非极性材料，必须对表面进行预处理，例如蚀刻、喷漆或者电晕放电。粘合剂只能用压力敏感型的。接缝不透气，防潮，但是机械强度低。

参考文献

Ultraform in Processing, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

19.10　机械紧固连接

杜邦：Delrin

自攻螺纹螺钉：表 19.4 和 19.5 给出了具体的拉脱强度、剥离力矩和 AB 型螺钉的尺寸。

表 19.4　不同的 Delrin 树脂中各种尺寸螺钉的拉脱力特性

		螺纹代号	6	7	8	10	12	14
		D_s/mm	3.6	4.0	4.3	4.9	5.6	6.5
		d_s/mm	2.6	2.9	3.1	3.4	4.1	4.7
		D_h/mm	8.9	10.0	10.8	12.2	14.0	16.2
		d_h/mm	2.9	3.3	3.5	4.1	4.7	5.5
拉脱力	Delrin 500 NC010	N	3100	3800	4500	5250	6500	9000
	Delrin 570	N	3050	3600	4250	4950	6000	8300

注：D_s—螺纹大径；d_s—螺纹中径；D_h—凸台外径；d_h—凸台孔径。

表 19.5 不同的 Delrin 树脂中各种尺寸螺钉的剥离扭矩特性

		螺纹代号	6	7	8	10	12	14
		D_s/mm	3.6	4.0	4.3	4.9	5.6	6.5
		d_s/mm	2.6	2.9	3.1	3.4	4.1	4.7
		D_h/mm	8.9	10.0	10.8	12.2	14.0	16.2
		d_h/mm	2.9	3.3	3.5	4.1	4.7	5.5
剥离扭矩	Delrin 500 NC010	Nm	2.5	3.5	4.6	5.8	7.5	11.2
	Delrin 570	Nm	2.5	3.5	4.7	6.2	8.2	12.0

注：D_s—螺纹大径；d_s—螺纹中径；D_h—凸台外径；d_h—凸台孔径。

卡扣连接：表 19.6 中给出了 Delrin 树脂中凸缘型卡扣连接的推荐许用应变。

表 19.6 Delrin 树脂中凸缘型卡扣连接推荐的许用应变

材　料	许用应变（%）	
	仅用一次（新材料）	频 繁 使 用
Delrin 100	8	2～4
Delrin 500	6	2～3

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

泰科纳：Hostaform

铆接：为了连接 Hostaform 部件或连接其他材料的部件，合适的办法有热铆接和超声波铆接。在热铆接中，一个有聚四氟乙烯涂层的工具被加热到大约 220～230℃（430～450℉）。在第一步中，铆接用工具预热，在接下来的步骤中，头部由冷镦工具成型。

参考文献

Hostaform Acetal Copolymer（POM）, Supplier design guide, Ticona, 2000.

Hoechst Celanese：Celcon

卡扣连接安装：对大多数不同等级的 Celcon 聚甲醛来说，用作带钩卡扣连接件的最大许用伸长率为 6%，用作圆柱形或球窝型卡扣连接件的则为 4%。

另一种卡扣连接安装称为直接扣上或扣入型。有时卡扣可以成型到零件里面去，经常用于圆形零件。其优点是，在操作中一部分或者所有的部件伸缩时整体变形很小，能很好地控制在屈服极限以下。直接扣上扣入也可以通过用工具提供脱扣力来实现装配件的脱扣。这在需要重复维修在塑料装配件内的操作系统时很有必要。

自攻螺纹螺钉：广泛使用螺纹切削螺钉设计和螺纹成型螺钉设计。两种设计的结合也很受欢迎，因为它们都有很好的保持力，在螺纹形成中产生的应力最小。一些自攻螺纹螺钉的设计要点如下：

1）设计定位孔的直径大小合适以使孔的环向应力最小，定位孔公差 ±0.025mm（±0.001in）产生最佳的紧固强度。

2）控制成型孔或者钻孔的深度以防止螺钉头部触底。

3）如果用一个带孔凸台来使螺钉固定，凸台的外径应该至少是螺钉大径的两倍。

4）不要将螺纹成型螺钉设计用于玻璃增强塑料，例如等级 GC-25A。

5）在生产线上用扭矩控制器以避免剥离和高应力装配。

模内成型螺纹：这种类型的装配特点是将内外螺纹成型在待装配的零件上。对 Celon 聚甲醛零件来说并不广泛适用，因为其主要应用为容器、罩子和成型塑料硬件。

参考文献

Designing with Celcon Acetal Copolymer, Supplier design guide (95-303/5M/1295), Hoechst Celanese, 1995.

卡迪拉克塑料和化学公司：Cadco

卡扣连接安装：卡扣连接安装是一种简单快速经济地把 Cadco 聚甲醛零件安装到其他材料或金属件的方法。一般来说，一个部件上的机加工凹槽与另一个部件的凸缘相配合来进行组装。尽管卡扣连接安装很牢固，但是如果在接头设计中未考虑其他因素（如 O 形密封圈）时，压力也会很松。

压合装配：把 Cadco 聚甲醛零件压合到其他塑料或者金属件上可以以最少成本产生最大强度的连接。一般来说，建议在 Cadco 聚甲醛部件的过盈量比金属件间的要大，这是因为聚甲醛的弹性模量比金属的弹性模量要小。因为产品公差的自由度较大，用大的过盈量会节约成本。

铆合：铆合用于低成本、高强度和永久性的 Cadco 聚甲醛部件之间或者 Cadco 聚甲醛和其他材料的连接。铆合包括铆钉、螺柱或者相似件的变形。冷铆合是在室温下保持铆钉体不变，通过压缩铆钉端部来完成的，当压缩载荷超过了聚甲醛的屈服点时，铆钉端部形成一个头。热铆合时只需要很小的铆合力，最大的铆合温度 149℃（300℉）会使铆合头恢复程度最小（铆合力很低）。

自攻螺纹螺钉：用自攻螺纹螺钉连接 Cadco 聚甲醛部件的成本可以通过简化机加工零件和减少装配成本来降低。自攻螺纹螺钉在它插入部件时被切削成或者形成螺纹，因此不需要单独的攻螺纹操作。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide (CP-200-92), Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

巴斯夫：Ultraform

Ultraform 的力学性能尤其是它的抗冲击韧性好，允许使用自攻螺纹螺钉。Ultraform 部件之间，或者 Ultraform 部件与其他材料的部件之间，可以通过铆钉和螺钉很容易地连接。Ultraform 甚至在高温下也存在着突出的弹性和强度，特别适合这种结构。

参考文献

Ultraform in Processing, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

第 20 章　丙烯酸树脂

20.1　概述

Altuglass International：Plexiglas

Plexiglas 丙烯酸类树脂可以焊接到其他热塑性塑料上（见表 20.1）。

表 20.1　对焊接 Plexiglas 到其他热塑性塑料的评估

	Plexgls V-系列			Plexgls MI-7			Plexgls DR		
	超声波	振动	热板	超声波	振动	热板	超声波	振动	热板
PMMA	G	E	E	G	E	E	G	E	E
ABS	G	E	E	G	E	E	G	E	E
ABS/PC	G	VG	VG	G	VG	VG	G	VG	VG
PC	G	VG	VG	G	VG	VG	G	VG	VG

注：E 表示优秀（焊接强度为较弱材料拉伸强度的 90% ~100%）；VG 表示很好（焊接强度为较弱材料拉伸强度的 70% ~90%）；G 表示好（焊接强度为较弱材料拉伸强度的 50% ~70%）。

参考文献

Plexiglas Technical Data. Welding Methods, Supplier technical data sheet, Altuglass International, 2006.

20.2　热工具焊接

Altuglass International：Plexiglas

以下热板焊接参数作为焊接 Plexiglas 树脂的参考：

1）温度：315 ~425℃（600 ~800℉）。

2）熔融深度：0.76 ~1.00mm（0.03 ~0.04in）。

3）密封深度：0.25 ~0.51mm（0.01 ~0.02in）。

参考文献

Plexiglas Technical Data. Welding Methods, Supplier technical data sheet, Altuglass International, 2006.

丙烯酸类树脂［形状：3mm（0.118in）厚片材］

随着熔融层厚度的增加，热板的温度或加热时间相应增加，零件对应力开裂的敏感性也提高了。就工艺控制来说，这意味着可以选择最短的加热时间和最低的热板温度。然而这并不是成本效率的利益，增加周期所造成的额外成本必须和焊接后加热零件放置的花费相协调。

参考文献

Potente H, Schnieders J: influence of process parameters on the phenomenon of stress cracking during hot plate welding. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

20.3 超声波焊接

Altuglass International：Plexiglas

以下参数可以作为以 20kHz 频率超声波焊接 Plexiglas 树脂的参考：

1）振幅：40 ~ 70μm；

2）压力：0.2 ~ 0.4MPa（30 ~ 60psi）。

参考文献

Plexiglas Technical Data. Welding Methods, Supplier technical data sheet, Altuglass International, 2006.

罗门哈斯公司：Plexiglas

可使用超声波焊接来装配 Plexiglas 丙烯酸树脂成型零件，如果成型条件设计适当，可使得应力最小。

参考文献

Plexiglas Acrylic Resin from AtoHaas Clearly the Best, Supplier marketing literature (PL-1700b), Atohaas, 1993.

杜邦：Lucite

因为 Lucite 是非结晶树脂，这种材料的零件比半结晶材料的零件更容易焊接。在实际应用中，还看不出不同流动级别的 129、130、140、147 和 148 号 Lucite 中自然组成的焊接性存在差别。

如果焊缝设计正确，Lucite 零件间的焊缝是透明的。焊缝飞边是半透明的，必须用机械方法修剪掉。实际上，焊缝上没有飞边是不可能获得完全透明的焊缝的。如果焊接条件适合去掉飞边，那么焊缝就不会透明程度一致。

一般来说，空气中的湿气对 Lucite 零件的超声波焊接没有影响，而色料、润滑油和脱模剂都会对焊接产生不良影响。若将焊接设备工艺条件设置成可以得到无色料零件的高质量焊缝，则对有色料零件的焊接质量可能会显著降低，反映在焊缝的低强度和高脆性上。

色料似乎会影响到焊缝处热生成的方式。通常，有色料零件比无色料零件差的焊接质量可通过更长的焊接时间来弥补。然而，长的焊接时间会产生一些不符合要求的效果，例如会产生过多的焊缝飞边损坏焊接工具等。染料着色系统的使用，对超声波焊接影响不大，提供了一个可替代的解决方案。

色料对超声波焊接性的不利影响也会发生在外部或者内部带有混合润滑油和脱模剂的材料的焊接上。相对少量的这种材料会对焊接中的热生成方法产生不利影响。如果喷涂的脱模剂用在其他不润滑的成型材料中，应该在焊接前彻底清洗这些零件。

参考文献

Ultrasonic Welding of Delrin Acetal Resin, *Zytel Nylon Resin*, *Lucite Acrylic Resin*, Supplier technical report (171), DuPont Company, 1972.

丙烯酸类树脂（形状：纤维）

丙烯酸类树脂可以同超声波焊接或切割。由于它的脆性和低强度，一般不适用于连续焊接。

参考文献

Ultrasonic Sealing and Slitting of Synthetic Fabrics, Supplier technical report, Sonic & Materials, Inc.

20.4　振动焊接

Altuglass International：Plexiglas

以下焊接参数作为 Plexiglas 振动焊接的参考：

1）振幅：0.76～1.78mm（0.03～0.07in）。

2）压力：1.4～3.4 MPa（200～500psi）。

参考文献

Plexiglas Technical Data. Welding Methods，Supplier technical data sheet，Altuglass International，2006.

20.5　激光焊接

丙烯酸类树脂（形状：3mm（0.118in）厚片材）

焊接试验使用波长为1064nm的Nd：YAG激光器。MMA薄膜包含了红外线色料，放置在焊接件的交界处。色料的浓度大约为0.02%的质量分数，薄膜厚度为12μm。薄膜长条宽度为5mm（0.2in），激光束是圆柱形的，直径约为6mm（0.24in），固定着在整个薄膜宽度方向上来加热。所用激光功率是100W，焊接速度为8mm/s（0.315in/s）。

焊接试样经拉伸测试，可以观察到失效，失效不是在焊接交界处，而是在靠近焊缝的母体材料内发生的。失效力在焊缝宽度上为50N/mm。

参考文献

Jones IA，Taylor NS，Sallavanti R，Griffiths J：Use of infrared dyes for transmission laser welding of plastics. ANTEC 2000，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Orlando，May 2000.

丙烯酸类树脂

研究使用的是Holmium-YAG激光发生器，发射波长为2.1μm的光。基于吸收激光能量的焊接，可以用这种激光器来操作焊接PMMA。

采用对接结构的两个部件在交汇处熔化，激光功率为20W，焊接速度为300mm/min（11.8in/min）。

参考文献

Herfurth H，Ehlers B，Heinemann S，Haensch D：New approaches in plastic welding with diode lasers. Laser Materials Processing，ICALEO‘99，Conference proceedings，San Diego，November 1999.

20.6　红外线焊接

丙烯酸类树脂

传递红外线焊接（TTIR）包含在不吸收高聚物中的能量传递，例如丙烯酸类树脂的焊接。能量通过与丙烯酸类树脂接触的吸收型高聚物（如黑色碳酸酯）吸收。在焊接的工艺过程中通过焊接力保持接触。吸收型聚合物通过直接接触不吸收材料来加热。当两种都熔融时，焊接力也使得分子链混合产生焊缝。

传递红外线焊接为只需要在一部分焊接区域的连续的（也叫静态的）工艺中连接材料提供了可行的方法。如将PMMA焊接到PC，这种方法证明了还是可能获得美观结实的焊缝的。如果能够对塑料工件进行选择性的加热，则这种传递红外线的焊接方法会进一步强化这种选择性。

参考文献

Grimm RA：Through-transmission infrared welding of polymers. ANTEC 1996，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Indianapolis，May 1996.

20.7 微波焊接

丙烯酸类树脂

微波焊接用单型腔操作，连接到一个最大功率1000W、频率为2.45GHz的微波发生器上来工作。所用聚合物为PMMA，尺寸为100mm×25mm×2 mm（3.49in×0.98in×0.08in）。微波材料是Ormecon L5006聚合物。因为它是液态的，使用时需要做一些型腔使它具有形状。通过用CNC微铣削机做成不同宽度（0.4mm、0.6mm、0.8mm和1.0mm，即0.016in、0.024in、0.031in和0.039in）的、深度0.3mm（0.012in）不变的、长度12mm（0.47in）的各种型腔。

聚苯胺量增多会提高微波焊接的强度，但需要提高微波功率。300W功率能快速加热，焊接好，比低功率的连接强度要高。用0.6mm（0.024in）聚苯胺型腔在焊接15s后强度可以达到6.8MPa（986psi）。

参考文献

Yussuf AA，Sbarski I，Hayes JP，Tran N，Solomon M：Rapid microwave welding of two polymethylmethacrylate（PMMA）substrates. ANTEC 2004，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Chicago，May 2004.

20.8 溶剂焊接

Altuglass International：Plexiglas

次甲基二氯化物已被证明是能够有效地粘接Plexiglas丙烯酸树脂的溶剂。

参考文献

Plexiglas Technical Data. Welding Methods. Chemical Methods，Supplier technical data sheet，Altuglass International，2006.

杜邦：Lucite L（性能：透明；形状：浇注片材）

甲醇、乙醇和DMF都被用来焊接PMMA，温度为40~60℃（104~140℉）。DMF的溶解度参数接近PMMA的溶解度参数，随后是乙醇和甲醇。机械强度如剪切和拉伸模量在溶剂中随PMMA的溶解度的降低而增加，随焊接温度的降低而增加。

参考文献

Du C-S，Hu C-T，Lee S：The microstructures of solvent-welded joints of irradiated poly（methyl methacrylate）. *Journal of Adhesion Science and Technology*，15(1)，p. 83，2001.

西罗公司：Acrylite FF（形状：片材）

Acrylite FF丙烯酸类树脂片材可以很容易地用商用溶剂连接到一起或者连接到其他的丙烯酸类树脂表面。

准备：第一步是准备焊接区域。边缘必须切割整齐或正确加工。如果用钝刀切割成锯齿切口，会导致熔化或者产生有缺口的边，被切割的边和溶剂接触可能会导致材料裂纹。所有的粗糙界面用结合件、修形机或者边缘修整机修整，如果不能这样做，则用平面状或者块状湿沙喷射边缘。

不要抛光所要连接的边缘。抛光会产生有圆角的凸边，产生不美观且低强度的连接。同时，火焰抛光边也会在材料接触溶剂时引起开裂。

开裂也会在车间制造内应力过高时发生。为了消除这种应力，需要在80℃（180℉）时进行退火热处理。在退火热处理时，数小时的加热和冷却的时间应该与材料毫米级的厚度相匹配，最多达到6mm（0.24in）。例如，应该把3mm（0.12in）厚的片材加热3h，并且也要冷却3h。

对于薄的片材来说，退火热处理（加热）时间不应该少于2h。

毛细管方法：毛细管溶剂焊接法可能是连接Acrylite FF丙烯胶片的最好方法。因为低粘度溶剂通过毛细管效应流过连接区域的能力强。如果方法合适的话，毛细管溶剂焊接可以产生强度高的透明焊缝。

在毛细管焊接中，首先应确定所有零件都装配正确，然后把各部分用遮护胶带连接起来或者进行固定支撑，把它们固定在正确的位置。

当用溶剂焊接Acrylite FF丙烯酸类树脂片材时，保持接缝在水平位置，用夹铁把两边隔开。对6.4mm（0.25in）或者更薄的片材使用0.1mm（0.004in）的夹铁，对更厚的片材使用0.2mm（0.008in）的夹铁。对长边，每隔600mm（2in）嵌入夹铁。

移去夹铁前，使溶剂浸入到边45~60s，这时表面会软化。施加压力，在50~100g/cm^2（0.7~1.4lb/in^2）下保压3min，直到焊缝固化。

如果溶剂不能够完全流到焊缝，将竖直的零件朝外微微倾斜（大约1°）。这可以允许溶剂自由地流入到整个焊缝。然后，往回倾斜成一个直角。

最初的粘合在5~10s中形成，随后的过程在3h之后进行。粘合将会在24~48h内达到最高强度，并在未来几周内继续加强。

下沉或浸入法：把中等量容积的溶剂倒入一个浸泡盆中。把其中一个零件的边缘直接浸入到溶剂中。要注意，只能将边浸入溶剂，如果很大部分浸入到溶剂中，将会产生弱的、凝固慢的接缝。

把零件薄片材浸入到溶剂大约20s，相对厚的片材要保持30s。

当把部件从溶剂中取出时，保持一个小角度几秒钟来使多余的溶剂排掉。要小心，还要快，把蘸有溶剂的边和另一个零件精确地定位连接。然后将两个零件保持约30s，不加任何压力。这样溶剂才会在没有浸入的那个零件表面起作用。

20s后，施加足够的压力来挤出气泡。不要施加太多压力，因为这样会把溶剂挤出。

当部件连接到一起时，零件应该固定保持密切接触约10~30min。不要在这个重要时刻移动零件。

初始的粘接在5~10s中形成，随后的过程在3h后进行。粘接将会在24~48h内达到最高强度，并会在未来几周内继续加强。

溶剂粘合剂粘合：用溶剂粘合剂连接不易用毛细管方法或溶剂浸入方法连接的部件——因为接缝很难达到强度，或者因为边不能很好地结合。溶剂粘合剂很浓，它会填充小的空隙，产生高强度透明的接缝，这些用溶剂方法是不能做到的。

把覆盖物从接缝区域除去，小心地用刷子、抹刀或者粘合剂敷贴器把接合剂涂到焊缝一面，然后按照浸入方法轻轻地把零件接合在一起。

抗溶剂保护带可以用来保护焊缝周围的区域，但它应该在5min后慢慢去掉，这时粘合

剂还是湿的。在开始关键的3min或者焊缝还没凝结时不要触摸零件，10min后可以小心移动零件。

表20.2中列出了一些故障排除方法。

表20.2 Acrylite FF的溶剂焊接——故障分析

问　　题	原　　因	解决方案
接头内有气泡	表面不平	检查焊缝方正度 用溶剂粘合剂
裂纹	材料内有应力	研磨时用水冷却等 弯曲区域退火热处理 火焰抛光前要干燥 适当通风
焊缝白化	溶剂中的水分	更换溶剂
	溶剂蒸发太快	通过添加冰醋酸（1%～3%）来降低蒸发速率
焊缝弱	粗糙表面不均匀	检查焊缝的方正度 用溶剂粘合剂
	溶剂/粘合剂问题	检查溶剂存储的方法 溶剂蒸发能够改变溶剂的性能

参考文献

Acrylite FF Fabrication Tech Brief，*Part 8 Cementing*，Supplier design guide（1319（8F）-899-5RA），CYRO Industries，1999.

三菱人造丝：Shinkolite-A（特性：透明；形状：铸板）

Shinkolite-A可用以下有机溶剂进行溶剂焊接。

类型一：溶剂：二氯甲烷或其混合物和冰醋酸。粘接很简单，粘性很好，但强度和户外持久性不够理想。

类型二：溶剂粘合剂：对上面的溶剂，加入少量的PMMA，溶解。

类型三：糖浆和硬化剂：对于部分聚合的甲基丙烯酸酯糖浆，应添加一些聚合（硬化剂）引发剂。

应注意以下几点：

1）根据需要遮蔽零件，避免溶剂粘到零件上而不是在粘合区域。

2）彻底擦拭粘合表面。

3）对类型1焊接，注射；对类型2粘合剂粘合，需要油和滴油管；对类型3粘合剂粘合，打开盖子直接将粘合剂倒入空隙。用这种方法，表面要覆盖玻璃纸或者聚酯膜以使氧吸收量在聚合完成时最小（吸氧量会阻碍聚合）。

4）粘合剂粘合时的缺点及其防护如下：

a. 裂纹、开裂：在焊缝受到外界力时、再加工中产生内应力时、吸氧量很大时都会产生。控制这些应力可以避免特殊区域的应力集中。

b. 气泡：由于焊缝表面布置不合理、溶剂的蒸发速率太快、溶剂/粘合剂的不合理地注射、压力不足或者聚合太快或不同的反应速率等而产生。蒸发率可以通过改变二氯甲烷和乙二胺的配比来控制，也可以通过在二氯甲烷中混入高沸点溶剂控制。

c. 薄雾：当大气温度高的时候，与溶剂接触的零件在溶剂蒸发过程中由于蒸气冷凝而产生薄雾，这可以通过减少蒸发率来避免。同时，添加少量可水解的高沸点溶剂（5% ~ 15%，如双丙酮醇或者冰醋酸）也是很有效的办法。

参考文献

Shinkolite-A Technicalinfo-Fabrication, Supplier technical guide, Mitsubishi Rayon.

西罗公司：Cyrolite HP（特性：透明；备注：专有配方）

Cyrolite HP 多聚物片材连续生产的特殊配方可用于溶剂焊接。通常，用于丙烯片材的二氯甲烷溶剂与那些用于 Cyrolite HP 片材的丙烯酸的材料相比，有下面两个优点：

1）Cyrolite HP 片材不需要特殊的溶剂组分。

2）Cyrolite HP 片材在溶剂相同的情况下可以和丙烯酸类树脂薄板粘接到一起。允许使用丙烯酸类树脂，包括挤出丙烯酸类树脂型材和 Cyrolite HP 的任何结构形状的连接。

聚丙烯片材的边缘准备及溶剂涂覆技术也可以成功地运用于 Cyrolite HP 片材。光滑的、连接的或整齐切割的锯齿形边都适合溶剂焊接。要避免使用磨砂的或者刮擦的边，因为它们会沿着边缘产生不一致的表面接触。与溶剂直接接触的边一定不要用抛光边，这样会导致裂纹产生。

多数情况下，用来粘接丙烯酸类树脂薄板的技术都很成熟，无须改进，可以用来粘接 Cyrolite HP 片材。因为它的专有组分，Cyrolite HP 片材会比丙烯酸类树脂片材更容易吸收溶剂。为了弥补这点微小的差别，制造者必须确保在零件连接的时候有足够的溶剂用涂抹在配合面上。以下是一些提高效果的准则：

1）确保光滑、整洁、低应力的边缘。

2）将充足的溶剂用到连接表面。可以通过以下方面来加强：

- 轻微地将竖直零件倾斜，边缘因此可以容纳更多的溶剂。
- 用大直径的敷贴器开口以让更多的溶剂流入。
- 用夹铁使接缝处产生空隙（0.05 ~ 0.1mm，即 0.002 ~ 0.004in）。

3）如果使用重物，应该在施加重物前用溶剂浸蚀 1.5 ~ 2min。

对任何的设计者来说，粘接大量的材料时的焊缝连接时间设定都是一个很重要的问题。焊缝达到足够强度以进一步加工需要的时间取决于大量因素。这些可变因素包括溶剂的类型和温度以及焊接环境的湿度。Cyrolite HP 片材在焊接后约 30 ~ 45min 产生初步强度。焊缝在焊接后约 3h 开始固化。焊缝强度会继续增加直到焊缝完全固化。作为通用的准则，设定时间要比通常用持续生产丙烯酸类树脂的时间稍微长些。

Cyrolite HP 片材比挤出的聚丙烯片材产品有更高的抗开裂能力，因此它通常用在挤出聚丙烯片材开裂的场合。当 Cyrolite HP 片材用在溶剂焊接边附近有直线弯曲变形或火焰抛光边的场合，会产生很好的效益。

参考文献

Cyrolite HP Multipolymer Sheet, Supplier design guide (1825A-695-10BP), CYRO Industries, 1994.

西罗公司：Acrylite AR（特性：透明，抗磨损层，3.2mm（0.126in）厚；制备方法：连续铸造；形状：片材）

Acrylite AR 聚丙烯薄板在一面或者两面贴膜以防止磨损。当溶剂焊接用在未涂保护层的片材表面时，通常使用与在聚丙烯酸酯塑料片材产品上使用的相同的溶剂或粘合剂。关键部

位是待焊零件边缘：必须用低应力适当地准备边缘，刮擦、湿砂喷和抛光都是制备光滑边缘的可行方法，不提倡火焰抛光，火焰的过喷会导致表层膜的开裂或损坏，从而导致表层的脱离，失去防磨损能力。零件需要在溶剂焊接前的退火热处理。

不能迅速完成溶剂焊接硬表面层，是因为其外层的化学阻力。为了用溶剂焊接带外层的表面，必须首先用砂纸对外层打磨或者打槽。当去除外层后，确保粘接表面是平的、整洁的、无应力的，零件的退火热处理会确保表面无应力。

参考文献

Physical Properties Acrylite AR Acrylic Sheet And Cyrolon AR Polycarbonate Sheet, Supplier design guide (1632B-0193-10BP), Cyro Industries, 1993.

罗门哈斯公司：Plexiglas

溶剂焊接柔性 PVC 管材最好用环已酮、腈基乙酰胺、四氢叶酸或者四氢叶酸与含有溶解 PVC 碎片的甲基乙基酮各一半的混合物来作为溶剂。

参考文献

Plexiglas Acrylic Resin from AtoHaas Clearly the Best, Supplier marketing literature (PL-1700b), Atohaas, 1993.

卡迪拉克塑料与化学公司：Cadco

Cadco 丙烯酸类树脂件之间或者是与其他材料之间，可通过溶剂很容易地焊接到一起。溶剂通常用来粘合 Cadco 丙烯酸类树脂件，因为它在用氯消毒的芳香碳氢化合物中是可溶的。典型的溶剂有二氯化乙烯和三氯乙烷。正确使用时产生强度高且透明的焊缝。强度高更持久的焊缝要选择专有的需要固化的粘合剂。这些粘合剂通常由相同的异丁烯酸甲酯组成，可通过丙烯酸类树脂碎片填充到焊缝中或做成嵌条来增厚。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide (CP-200-92), Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

西罗：Cyrolite G20（特性：透明）

在评估增塑 PVC 管和刚性透明热塑性材料的粘接性和兼容性的试验中，聚丙烯酸在所有测试材料中的粘度最高。初始观察中，含 80% 或者更多二氯甲烷的混合物的唯一问题就是装配困难。丙酮材料也会发生同样的问题，装配会变得非常昂贵。使用所有的溶剂都没有出现裂纹。基于其试验结果，在 50% 对 50% 的二氯甲烷在环已酮中的混合或 50% 对 50% 的甲基乙基酮在环已酮中的混合时，都建议使用丙烯酸作为溶剂。

参考文献

Haskell A: Bondabilitly/compatibility of plasticized PVC to rigid, transparent thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings—Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

西罗：Acrylite GP（制造方法：气泡铸造工艺；形状：片材）

Acrylite GP 片材可以用普通溶解剂或聚合性粘合剂进行溶剂焊接。这之中最关键的因素是待粘接的零件边缘，其必须被正确加工以产生平直且无应力的表面。溶剂焊接前的退火热处理也是必要的。溶剂和溶剂烟雾不应该接触成型抛光的表面。

参考文献

Physical Properties of Acrylite GP Acrylic Sheet, Supplier design guide (1235D-1192-10BP) —CYRO Industries, 1988.

安利达公司：丙烯钢 M；Altair Plus（特性：透明；制造方法：连续铸造；形状：片材）；**安利达 300**（特性：透明；制造方法：连续铸造；形状：片材）；**安利达 GPA**（特性：透明；制造方法：连续铸造；形状：片材）；安利达 **IGP**（特性：透明；制造方法：连续铸造；形状：片材）；**安利达 IMA**

在连接安利达聚丙烯片材中，可以通过仔细制备配合面、正确选择溶剂和以下正确的应用技术获得高强度且透明的焊缝。

机械操作产生的热量或者降温时的热经常会产生内应力，使得材料在接触溶剂或者特定粘合剂后更容易开裂。这样的应力可通过适当选择热成型或者机加工条件来避免，或者可以通过热处理除去。

连接的表面应该整洁，在接缝处的接触应该均匀。为获得紧密贴合的边，需要对配合面进行机械精加工，这是很重要的。需要溶剂焊接的边不应抛光，这样容易产生圆角，减少焊接时的接触面积。不同形式的接头选择通常取决于最终的应用场合。

在溶剂焊接中，为得到最牢固的焊缝，接触区域应该尽可能大。连接弯曲的表面时，每个都要有相同的半径以在整个连接区域上有均一的接触。

安利达 GPA、IGP 或者 IMA 的零件可以用三种普遍的溶剂焊接在一起——普通的溶剂、单体聚合物溶剂或者单体聚合物催化剂。安利达 300、丙烯钢 M 或者 Altair Plus（表面）只能用单体聚合溶剂或单体聚合催化剂进行连接，因为这些产品是高抗溶解性的、部分交联的，可以连续铸造丙烯酸类树脂片材。

普通溶剂：普通溶剂用起来是最简单也是最方便的。用溶剂软化配合表面，使焊缝交界面可以完全融合，随后扩散和干燥，最后固化成透明的连接。一般来说，焊缝不需要后续处理。

几种合适的溶剂是 Weld-On 3、Weld-On 4 和二氯甲烷丙酮，也可使用冰醋酸和氯仿，但是不提倡，因为它们对丙烯酸树脂的高溶解性可导致裂缝产生。溶剂允许快速装配，产生中等强度的焊缝，露天时的抗风化能力差。

单体聚合溶剂型粘合剂：这些粘合剂通常由甲基异丁烯酸甲酯单体、甲基异丁烯酸甲酯聚合物和其他配合溶剂构成。M-P-S 型的粘合剂包括 Weld-On16（高粘性）和 Weld-On35（低粘性）。M-P-S 粘合剂不能快速装配，通常用于粘合 15 ~ 30min 后，零件要小心处理，可产生高强度连接，并且有良好的抗风化能力。

单体聚合催化剂型粘合剂：这些类型的粘合剂由甲基异丁烯酸甲酯单体、甲基异丁烯酸甲酯聚合物（A 部分）和催化剂（B 部分）组成。M-P-C 粘合剂包括 Weld-On40 和 PS-30。这种类型的粘合剂有很好的粘接强度和抗风化能力。注意装配要慢。

溶剂和粘合剂可以通过浸渍法、浸染法、注射器或者涂刷法用于安利达聚丙烯 GPA 或者 IGP 制装配零件上。安立达 I-300 丙烯酸类树脂片材不能用浸渍法或浸染法，因为它不用于溶剂焊接。最好的方法取决于配合连接接头的类型、零件的物理结构等。

温度和湿度都可以影响溶剂焊接的焊缝质量。安立达聚丙烯片材不应该在低于 18℃（65℉）、高于 35℃（95℉）或者相对湿度超过 60% 时使用溶剂焊接。过于潮湿会产生浑浊的焊缝，通常比普通焊缝的强度要弱。

在溶剂焊接空心制品时，封闭空间应排气以防止溶剂蒸气的滞留，否则会提高开裂的可能性。

在溶剂焊接前，小的裂纹或空隙可以通过用注射器注射的粘合剂来填满。

要获得最大的粘接强度，应该用夹紧装置以使焊缝具有均一的压力，当焊缝形成后不会超过0.04MPa（6lb/in^2）。并且夹紧装置不应该接触到焊缝，因为毛细作用会将溶剂吸到夹具下面，导致它与焊缝粘到一起。

溶剂焊接接头应在抛光、磨砂或者机加工前进行彻底固化。如果可能，应在溶剂焊接前就进行热成型。如果必须在刚成型焊缝上进行热成型，那么就应该使用单体聚合催化剂型粘合剂，这样，热处理焊缝在成型过程中产生的粘接强度最大。一般一个封闭的 V 形焊缝会在热成型中会产生最好的粘接。

通常，需要使用溶剂焊接将安利达丙烯酸片材零件焊接到其他材料（如金属、木材和其他塑料等）零件上。IPS 公司（美国康普顿市西弗吉尼亚大街 455 号，邮编 90220），Weld-On 系列粘合剂的生产商，有完整的生产线。可以查阅 IPS 公司的介绍。

参考文献

Aristech Acrylic Sheet Technical Bulletin 136—Cementing, Supplier technical report (ADARIS 50-1032-01), Aristech Chemical Corporation, 1987.

西罗：聚丙烯酸酯塑料

因为内应力经常会在注射成型件中产生，裂纹可能在溶剂用于粘接过程时产生。为了避免这种情况，成型零件在粘接前应进行热处理。

溶剂如二氯甲烷可用于粘接聚丙烯酸酯塑料成型零件和聚丙烯材料或其他材料的部件。如果接头设计可以让溶剂流出去，产生持续裂纹的可能性就会大大降低。

参考文献

Acrylite Acrylic Molding & Extrusion Compounds, Supplier marketing literature (1066C-1090-10CG), CYRO-Industries, 1986.

罗门哈斯公司：Plexiglas55（应用：飞机玻璃；特性：双向拉伸，抗裂纹）；**PlexiglasG**（特性：普通用途）；**PlexiglasK**（特性：可做热压成型；形状：持续加工片材）

用于连接 PlexiglasG 的溶剂软化塑料表面。当压在一起时，软化的表面互相混合在一起，溶剂蒸发后形成坚硬的连接。以下是三种溶剂焊接 Plexiglas 塑料的方法：

1）溶剂如二氯甲烷的毛细管或者表面张力的存在，用料刷、清管器、滴管来粘接。这样产生快速、整洁的焊缝，但是强度低，零件在室内使用。

2）渗透粘接用单体溶剂混合物，如罗门哈斯粘合剂Ⅱ进行中等强度连接，可以在室内和室外使用。较小的工件，除了粘接区域其他部位都遮挡，浸入粘合剂 3~5min 直到表面软化。两个工件随后在粘合剂蒸发前迅速装配。高强度的浸入焊缝通过热处理就可获得。

3）反应粘合剂（如粘合剂 PS-30）用于粘接高强度结构件。这些可以在室温下固化，并通过热处理进一步提高性能。PS-30 是粘性流体，涂到相连接的一个或两个件上。这些粘合剂应用于 PlexiglasK 和 55 号塑料。

参考文献

Plexiglas Acrylic Sheet General Information, Supplier technical report (PL-lp), Rohm and Haas Company, 1985.

20.9 粘合剂粘接

英国化学工业公司：Perspex CP80

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切

试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表20.3中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表20.3中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

表20.3 采用乐泰公司的粘合剂对Perspex CP80和丙烯酸类树脂进行粘接的剪切强度［单位：MPa（psi）］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
非填充树脂 3rms	4.1 (600)	>27.2① (>3950①)	1.7 (250)	>20.0① (>2900①)	7.9 (1150)	12.1 (1750)
粗加工的 34rms	10.3 (1500)	14.8 (2150)	11.7 (1700)	>20.0① (>2900①)	4.5 (650)	12.1 (1750)
抗氧化剂 0.1% 抗氧剂245	9.7 (1400)	>27.2①> (3950①)	11.7 (1700)	>20.0① (>2900①)	7.9 (1150)	12.1 (1750)
UV稳定剂 0.6% Uvinal 3039	10.0 (1450)	>27.2① (>3950①)	1.7 (250)	>20.0① (>2900①)	7.9 (1150)	12.1 (1750)
阻燃剂 17% Phoschek P-30	7.2 (1050)	>34.8① (>5050①)	>36.2① (>5250①)	>20.0① (>2900①)	7.9 (1150)	12.1 (1750)
润滑剂 5% Witconol NP-330	>21.0① (>3050①)	>27.2① (>3950①)	2.4 (350)	>31.4① (>4550①)	7.9 (1150)	8.6 (1250)
冲击改性 29%乳胶粘合剂 EXL 3330	0.7 (100)	>27.2① (>3950①)	8.6 (1250)	>20.0① (>2900①)	4.5 (650)	12.1 (1750)
增塑剂 9% Benoflex 50	0.7 (100)	>20.7 (>3000①)	1.7 (250)	>20.0① (>2900①)	7.9 (1150)	12.1 (1750)
着色剂A 1% OmniColor 太平洋蓝	0.7 (100)	>23.1① (>3350①)	1.7 (250)	>20.0① (>2900①)	7.9 (1150)	9.3 (1350)

（续）

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/ Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
着色剂 B 0.5% 99-41-042 绿	0.7 (100)	>16.2① (>2350①)	1.7 (250)	>20.0① (>2900①)	3.1 (450)	12.1 (1750)
抗酸剂 1.5% Markstat AL-48	1.0 (150)	>27.2① (>3950①)	1.7 (250)	>20.0① (>2900①)	7.9 (1150)	12.1 (1750)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合性能：Prism 401 瞬间粘合剂、Flashcure 4305 光固化粘合剂和 Super Bonder 414 瞬间粘合剂对于大多数提到的材料来说所产生的粘接都要比聚丙烯片材牢固。乐泰 3105 光固化丙烯酸粘合剂、乐泰 3030 粘合剂、Hysol E90-FL 环氧基树脂粘合剂和 Hysol U-05FL 尿烷粘合剂的粘接强度次之。Hysol 3651 和 7804 热熔粘合剂与 5900 法兰密封胶用于 PMMA 时强度最低。使用 Black Max 300 瞬间粘合剂时，加上润滑剂和抗静电剂则平均强度和材料失效强度都会增加。

表面处理：将 Prism Primer 770 和 Prism 401 瞬间粘合剂联合使用，或者将 Prism 4011 医疗用瞬间粘合剂与 Prism Primer 7701 联合使用，会引起丙烯酸组分材料粘接强度的评估降低。当使用 Black Max 380 时，表面粗化会引起粘接强度升高，但是对于其他的粘合剂来说，可能无影响或者降低粘接强度。

其他信息：未固化的腈基乙酰胺粘合剂会在丙烯酸树脂中产生应力开裂，所以任何多余的粘合剂都应该从表面立即去除。丙烯酸树脂和聚丙烯粘合剂相容，但是在固化前会被它们的催化剂所影响，所以任何多余的催化剂都应立即从表面去除。丙烯酸树脂与厌氧粘合剂不相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

Altuglass 国际：Plexiglas

亚克力树脂与许多通用的粘合剂相容，包括聚酯、环氧基树脂、腈基乙酰胺和腈类酚醛塑料。

参考文献

Plexiglas Technical Data. Welding Methods. Chemical Methods, Supplier technical data sheet, Altuglass International, 2006.

丙烯酸类树脂

丙烯酸类树脂可以用厌氧的氰基丙烯酸盐粘合剂、紫外线、环氧基树脂和结构聚丙烯粘

合剂来粘接。轻微打磨会起帮助作用。

参考文献

The Engineers Guide to Adhesives, Supplier design guide, Permabond Engineering Adhesives.

罗门哈斯公司：Plexiglas

亚克力的柔韧性允许其与其他不相似不定型的树脂例如 ABS、PC、SAN 和聚酯相粘接。亚克力也可以与 PVC 管通过腈基乙酰胺进行粘接，用红外线固化剂粘接的效果很不错。

参考文献

Plexiglas Acrylic Resin from AtoHaas Clearly the Best, Supplier marketing literature (PL-1700b), Atohaas, 1993.

西罗：聚丙烯酸酯塑料

因为注射成型部件的内应力，当溶剂在粘接中使用时会产生裂纹。为了避免裂纹的产生，成型件应该在粘接前进行热处理。

聚合粘合剂可以用来粘接聚丙烯酸酯塑料成型件和聚丙烯酸树脂件或其他材料。有两种粘合剂有特别的粘接强度、好的外形和良好的抗风化力。接触粘合剂主要基于氯丁胶，适合粘接聚丙烯酸酯塑料、橡皮制品和木制品材料。

参考文献

Acrylite Acrylic Molding & Extrusion Compounds, Supplier marketing literature (1066C-1090-10CG), CYRO Industries, 1986.

20.10 机械连接

Altuglass 国际：Plexiglas

亚克力树脂可以热熔安装到其他不能焊接的材料上，例如金属和结晶聚合物。热熔由热能或者超声波能量实现。

参考文献

Plexiglas Technical Data. Welding Methods, Supplier technical data sheet, Altuglass International, 2006.

第 21 章 纤维素塑料

21.1 粘合剂粘接

伊士曼化工公司高性能塑料：Tenite 塑料 3754000012

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm（0.03in），横向速度为 0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪 4000 来确定表面粗糙度。

虽然表 21.1 中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表 21.1 中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表 21.1 采用乐泰公司的粘合剂对醋酸丁酸纤维素塑料 Tenite 3754000012（Cellulose Acetate Propionate，简称 CAP）**和 CAP 进行粘接的剪切强度** [单位：MPa（psi）]

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
非填充树脂 3rms	2.8 (400)	13.5 (1950)	14.8 (2150)	10.7 (1550)	8.3 (1200)	12.8 (1850)
粗加工的 19rms	2.8 (400)	13.5 (1950)	10.7 (1550)	10.7 (1550)	6.2 (900)	12.8 (1850)
抗氧化剂 0.15% 抗氧剂 1010	2.8 (400)	13.5 (1950)	14.8 (2150)	10.7 (1550)	4.8 (700)	12.8 (1850)
UV 稳定剂 0.2% 光稳定剂 994	2.8 (400)	>16.9① (>2450①)	13.8 (2000)	13.8 (2000)	3.8 (550)	12.8 (1850)
阻燃剂 17% Reofos 35	1.7 (250)	9.3 (1350)	6.9 (1000)	6.2 (900)	4.5 (650)	9.0 (1300)
增塑剂 9% Benoflex 988	1.7 (250)	7.2 (1050)	8.3 (1200)	7.9 (1150)	4.5 (650)	10.3 (1500)

（续）

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
润滑剂 0.1%硬脂酸锌	1.7 (250)	13.5 (1950)	14.8 (2150)	5.2 (750)	2.4 (350)	12.8 (1850)
填充剂 1# 17% 497 玻璃纤维	2.8 (400)	13.5 (1950)	>15.2① (>2200①)	10.7 (1550)	4.5 (650)	>13.1② (>1900②)
填充剂 2# 17% Omyacarb F $CaCO_3$	4.5 (650)	13.5 (1950)	14.8① (2150①)	10.7 (1550)	8.3 (1200)	>11.1② (>1600②)
着色剂 1%绿	2.8 (400)	13.5 (1950)	14.8 (2150)	10.7 (1550)	5.9 (850)	12.8 (1850)
抗酸剂 1.5% Markstat AL-12	11.7 (1700)	>15.2① (>2200①)	12.4 (1800)	>16.9① (>2450①)	2.8 (400)	>15.5① (>2250①)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。
① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。
② 由于块状剪切试样的严重形变，试验在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就停止了。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘接性能：乐泰 3340 光固化粘合剂、3030 粘合剂和 Fixmaster 高性能环氧基树脂产生的连接强度都比醋酸丙酸纤维素酯（CAP）的标准粘接强度要高。Prism401、414 超级速粘剂、光固化剂 4305 和 3105 光固化粘合剂和 Hysol 3631 热熔粘合剂也比 CAP 的粘接强度高。这也取决于 330 粘合剂，Hysol E-00CL、E-30CL、E-20HP 环氧基树脂粘合剂，Hysol U-05FL 尿烷粘合剂特别的性能。

表面处理：当 Prism Primer 770 和 Prism 401 速粘剂联合使用时，或者 Prism 4011 和 Prism Primer 7701 联合使用时，对 CAP 的配方没有有意义的影响。然而，抗紫外线、抗静电的配方确实导致粘接强度的降低，对于玻璃纤维和钙碳填料配方的粘合强度会增加。表面粗化对于用 CAP 粘接来说要么没有效果，要么粘结性会显著降低。

其他信息：纤维素用腈基乙酰胺粘合剂会产生应力开裂，所以任何附加粘合剂都应从表面立即去除。纤维素与丙烯酸粘合剂相容，但是在粘接固化前可能被催化剂破坏，所以任何附加的催化剂都应立即从表面去除。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

第 22 章 氟 塑 料

22.1 聚偏二氟乙烯

22.1.1 概述

Solvay：Solef

未增强等级的 Solef PVDF 可以很容易地以标准的焊接方式连接，例如带焊条的热气体焊接、聚合物融合（对焊或者承插焊接）、热封、超声波焊接、振动焊接、摩擦焊接、介电加热（高频率）或溶剂粘接。

参考文献

Solvay Polyvinylidene Fluoride，Supplier design guide（B-1292c-B-2.5-0390），Solvay，1992.

22.1.2 热工具焊接

Solvay Solexis：Solef，Hylar

将配合件压入到温度为 250～270℃（482～518℉）的金属加热器中加热，通过对加热器表面进行处理（通常有 PTFE）来减少附着。热表面的理想压力是 0.05～0.06MPa（7.3～8.7psi；0.5～0.6bar），材料在接触表面的时间应充足，以保证材料熔融深度为 4～5mm（0.16～0.20in）。随后去掉加热器，接触的理想压力为 0.06～0.08MPa（8.7～11.6psi；0.6～0.8bar）。这种工艺的焊接系数一般在 0.9～1 之间。

参考文献

Solef & Hylar PVDF Design and Processing Guide，Supplier design guide（BR2001C-B-2-1106），Solvay Solexis，2006.

PVDF（形状：直径 110mm（4.3in）的管材，5.3mm（0.2in）的壁厚）

这项技术和对接焊管接头强度的研究表明所有三个焊接参数（加热元件温度、预热和冷却的接触压力、加热时间）都对焊缝性质有着重大的影响。

焊缝的质量可以通过可视化检查、静拉伸、弯曲试验来评估。最佳数据在加热时间为 93～123s 时获得，时间过短或过长都会减少弯角。虽然焊缝的强度系数在 0.90～0.98 范围内都是合理的，但是产生的飞边太多。

加热元件的温度限制在 220～250℃（428～482℉）范围。对于强度结果的思考可以得出结论，即 220℃（428℉）不合理，因为此时弯角在最小许用值以下，强度系数是 0.85。加热元件温度为 250℃（482℉）时，一些弯角也低于最小许用值。因此，加热元件的温度范围最好是 230～240℃（446～464℉）。调节接触压力的大小也有很大效果，接触压力应为 0.5MPa（72.5psi；5bar）。

参考文献

Dziuba S：Effect of parameters of the butt pressure welding process on the strength and ductile properties of polyvinylidene fluoride（PVDF）-tubular joints. *Welding International*，17（11），p. 845，2003.

Symalit：PVDF

对于加热元件焊接来说，温度应该在 230～240℃（446～464℉）范围，熔融压力（焊

接压力）应为80kPa（11.4psi），升温时间应该为20s左右。加热元件（转镜）应涂有PTFE层，以防止被焊接的材料粘着。一般焊接系数要达到0.8~1.0。

参考文献

The Welding of Symalit—PVDF and Symalit-PVDF Flex Semifinished Products, Supplier guide, Symalit.

22.1.3 超声波焊接

Solvay：Solef

超声波焊接可连接所有级别的Solef PVDF材料，包括增强的或不增强的共聚物和合金。超声波焊接结晶材料的步骤（焊缝接头的几何形状、助推器类型和电极臂）适合于所有的Solef PVDF材料部件。

参考文献

Solvay Polyvinylidene Fluoride, Supplier design guide (B-1292c-B-2.5-0390), Solvay, 1992.

22.1.4 振动焊接

埃尔夫阿托化学有限公司：Kynar 720（成分：均聚物）；**Kynar Flex-2800**（成分：无规六氟丙烯共聚物）

研究中使用的焊接机带有位移变送器，可以测量渗透与时间的关系。数据是在相同的工艺条件下得到的——频率为60Hz，振幅为0.85mm（0.033in），压力为0.52MPa（75psi）。

结果显示，在第一阶段没有发生渗透，对共聚物时间很短（6s），对均聚物时间稍长（13s）。这是由于共聚物（150℃（302℉））相对于均聚物（177℃（351℉））的熔融温度较低的直接影响。

在PVDF共聚物中，观察了两个附加的步骤；一个相当快，随后的一个比较慢。在均聚物中省略了这两个步骤；取而代之的是一个逐渐稳定的状态值。这些不同可归因于其熔融粘度的不同。PVDF共聚物的标准粘度在$(22\sim27)\times10^3$范围，而PVDF均聚物在$(8\sim12)\times10^3$范围。因此，当这一步发生时，材料就开始熔融了，由于高粘度和振动的作用，共聚物会产生更多的剪切应力，产生更多的热能熔融聚合物，以获得更快的渗透速率。

一旦达到了稳定状态（工艺的第三步），PVDF均聚物渗透时间曲线会有一个较大的斜率。这是因为熔融粘度低，使得材料在法向力作用下更容易推向热影响区。

参考文献

Valladares D, Cakmak M: Heat affected zone structure in vibration welded polyvinylidene fluoride and its copolymer. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

22.1.5 旋转焊接

Solvay：Solef

Solef PVDF部件用旋转焊接很容易焊接。当熔融时可以看到Solef从不透明变为透明。焊接系数在0.7~0.8范围。

参考文献

Solvay Polyvinylidene Fluoride, Supplier design guide (B-1292c-B-2.5-0390), Solvay, 1992.

PVDF（形状：圆柱体）

在旋转焊接中，焊接起始时间（WIT）包含步骤一和步骤二，并随轴向压力增加而减少。发现WIT在2.0MPa（290psi）时为1.5s，4.3MPa（624psi）时为0.75s，6.8MPa（986psi）时不到0.25s。所有的这些结果都归因于温度的升高，因此熔融速率在高压下

增大。

焊透深度的明显增加是由于轴向压力的增加，与旋转速度有相似的变化，即焊透深度随旋转速度增加而稳定增加。法向力和旋转速度的影响是非线性的。

在较长的试验期间，轴向压力和旋转运动持续了很长时间，这产生了更多的熔融，因此，试验时间越长，产生的焊透深度越深。在大多数情况下，焊透深度随着试验时间的增长是线性的。最终焊透深度随着旋转速度和轴向压力的增加而增加。

轴向压力对于 WIT 的效果更大，但是旋转速度对 WIT 影响一般。转速为 3000r/min 时，当轴向压力从 2.0MPa（290psi）增长到 6.8MPa（986psi），WIT 从 1.5s 减少到 0.25s。轴向压力为 4.3MPa（624psi）时，当转速从 2000r/min 增加到 3500r/min，WIT 仅仅从 1.0s 减少到 0.7s。

每一个轴向压力都随着转速增加，焊接强度在减少前会达到一个最大值。在低的轴向压力下，在 3.4s 的焊接时间内，试样不会在低转速下发生粘接，只有在高转速下才能得到高强度焊缝。在这种情况下也可以得到一个强度的最大值。在高的轴向压力下，优质焊缝会在低于 2000r/min 的转速（这是试验中使用的最低旋转速度）下产生，每个法向力都有峰值，随轴向压力的进一步增加而减小。这可能与焊接平面内沿着周向形成高度分子链取向有关。

参考文献

Schaible S, Cakmak M: instrumented spin welding of polyvinylidene fluoride. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

22.1.6 热气体焊接

Solvay Solexis: Solef, Hylar

焊接零件轮廓清晰，清洗后，在正确的位置夹好。空气在热气喷枪中加热，空气温度在离喷嘴 5mm（0.197in）处可以达到约 350℃（662℉）。焊条随后插入斜面，保持持久的垂向压力为 0.02 ~0.04MPa（2.9 ~5.8psi）。

焊接系数通常定义为焊缝强度与被焊接区域外侧材料的强度之比，其值在 0.9 ~1.0 之间。

参考文献

Solef & Hylar PVDF Design and Processing Guide, Supplier design guide (BR2001C-B-2-1106), Solvay Solexis, 2006.

PVDF（形状：片材）

下面的焊接条件很适合 PVDF：

温度：350 ~400℃（662 ~752℉）。

外力（直径为 4mm（0.57in）的焊条）：25 ~35N（5.6 ~7.9lbf）。

气体流速：40 ~60L/min。

参考文献

Gibbesch B: Thermoplastic inliner for dual laminate constructions. Welding Beyond Metal: AWS/DVS Conference on Plastics Welding, New Orleans, March 2002.

Symalit: PVDF

由于 PVDF 不被氧化，可以用空气焊接。喷嘴前 5mm（0.197in）处焊接的空气温度应该在 350 ~360℃（662 ~680℉）范围，需要的空气量为 50 ~60L/min。表 22.1 中给出了推荐的焊接压力以及焊接速度。

表 22.1 Symalit：PVDF 热气体焊接压力和焊接速度

	焊接压力/N（lbf）	焊接速度/[cm/min(in/min)]
普通圆形喷嘴	10～15（2.25～3.37）	10～15（3.9～5.9）
高速喷嘴	～20（4.5）	25～40（9.8～15.7）

建议在焊接前清洁材料和焊条。

一般来说，焊接系数在 0.8～1.0 之间。

参考文献

The Welding of Symalit-PVDF and Symalit-PVDF Flex Semi-funished Products, Supplier guide, Symalit.

22.1.7 挤出焊接

Solvay：Solef

挤出焊接，要有支撑（单斜面或者双斜面的）并用热气枪预热以达到 250～260℃（482～500℉）的表面温度。熔体制品（最大长度为 20cm）通过不锈钢工具或者 PTFE 涂层工具压入斜面。

焊接系数，通常定义为焊封强度和焊接外区域强度的比值，由拉伸应力试验测定，其值在 0.8～0.9 范围。

参考文献

Solvay Polyvinylidene Fluoride, Supplier design guide（B-1292c-B-2.5-0390）, Solvay, 1992.

22.1.8 红外线焊接

PVDF

试验表明可以使用许多焊接参数以达到最好焊接质量，熔融深度和连接距离是决定性参数。熔融深度由进入接头的能量决定，是加热器属性、温度、暴露时间、焊接部分的几何形状和要熔融的物料的函数。

高质量红外焊接的机械测试表明在 −40℃（−40℉）下的 PVDF 的焊接系数大于 0.9。

参考文献

Taylor NS, Klaiber F, Wermelinger J: Assessment of PP and PVDF joints made by a new infrared jointing system. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

22.1.9 微波焊接

PVDF（形状：管材）

可以用微波焊接连接 PVDF 管材和配件。这种微波焊接技术有几个好处：可以精确提供需要熔融塑料的能量，调节电场强度允许能量输入减少，能量源激活时间应该少于需要加热的时间，因为能量可以立即使用，所以要准备充足。

对于外径为 32mm（1.25in）的管材来说，功率消耗不超过 250W。焊接强度和母体材料强度的比值至少为 0.8。

这项新技术的主要优点是它提供了焊珠的精细控制：焊珠的组成可以改变以使内焊珠不用裂解就可以达到最小。

参考文献

Dommer M：Using microwaves to weld PVDF pipes and fittings. *Welding Journal*，80（1），p. 35，January 2001.

22.1.10 溶剂焊接

Solvay：Solef

Solef PVDF 部件可以用 Solef 2010 粉末化粘合剂焊接，在极性溶剂（如二甲基甲酰胺中）可以溶解。这项技术简单易用，但也有一定的缺点，主要原因如下：

1）所用溶剂的性质：

① 高沸点（>150℃（302℉）），低蒸气压力，很难消除。

② 对健康有害。

③ 溶解能力差，因此干燥物质受限（25% w/w）。

2）很难控制和确认溶剂是否完全清除，如果尚有溶剂存在，会大大降低焊缝强度。

参考文献

Solvay Polyvinylidene Fluoride，Supplier design guide（B-1292c-B-2.5-0390），Solvay，1992.

22.2 聚四氟乙烯

22.2.1 红外线焊接

杜邦：Teflon PTFE（形状：4.8mm（0.19in）厚板）

很少有报道是关于用温度很高的加热工具来焊接 PTFE 的，这样会引起聚合物在加热工具上的分解，并且由分解的物料形成焊缝，结果产生的焊缝很脆，整个过程中产生的气体对人体有害。

在这个研究中，使用了搭板接头的结构，如图 22.1 所示。

带有炭黑色料 Teflon PFA 夹层的焊缝搭板由固定支撑上的螺钉支撑，所以焊缝搭板可以和 PTFE 片材很好地配合固定。焊接在功率为 500W、宽为 38mm（1.5in）、长度为 150mm（5.9in）的石英灯下进行。满压（120V）在加热阶段加载，但是在保温时减压。

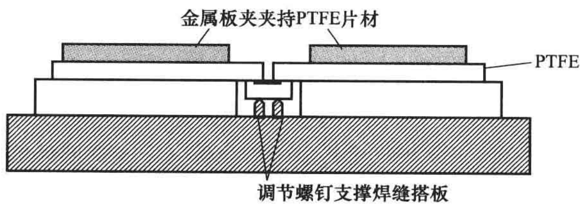


图 22.1 搭板接头结构。

结果表明 PTFE 对红外辐射的透明性使其可以用包含少量炭黑的 Teflon PFA 吸收层来焊接。搭板接头的焊缝强度超过产生接头的片材强度。最好的焊接条件为 0.4mm（0.016in）厚，0.3% 炭黑 PFA 夹层，焊接温度 340℃（644℉）。带少量炭黑（0.03% 和 0.003%）的 PFA 层相对于红外线会更透明，可以方便夹层两面同时焊接。

参考文献

Grimm RA：Through-transmission Infrared welding（TTIR）of Teflon® TFE（PTFE）. ANTEC 2000，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Orlando，May 2000.

22.2.2 粘合剂粘接

杜邦：Teflon PTFE

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表22.2中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表22.2中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表22.2 采用乐泰公司的粘合剂对Teflon PTFE和PTFE进行粘接的剪切强度 ［单位：MPa（psi）］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
非填充树脂 88rms	1.4 (200)	2.4 (350)	7.2 (1050)	2.1 (300)	0.7 (100)	1.0 (150)
粗加工的 349rms	1.4 (200)	2.4 (350)	5.5 (800)	4.8 (700)	1.7 (250)	2.1 (300)
Acton 氟蚀刻处理的 Teflon	6.6 (950)	12.4 (1800)	10.7 (1550)	12.1 (1750)	3.1 (450)	5.2 (750)
Gore Tetra 蚀刻处理的 Teflon	9.3 (1350)	13.1 (1900)	8.3 (1200)	12.4 (1800)	350 (2.4)	4.8 (700)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合性能：Prism 401速粘剂、Prism Primer 770和3030粘合剂联合使用使未腐蚀的PT-FE产生最高的粘接强度。Prism 4011和超粘合414速粘剂联合使用的粘接强度次之。未填充/未处理树脂的粘合强度通常是所有粘合剂中最差的。

表面处理：Acton FluoroEtch和Gore Tetra-Etch都能够使PTFE材料的粘接强度增加。对于PTFE粘接强度的增加来说，表面粗化不起作用或者作用很小。将Prism Primer 770与Prism 401速粘剂联合使用或将Prism 4011与Prism Prime 7701联合使用时，会大大提高PT-

FE 的粘接性。不论是臭氧还是等离子处理都不能有效地提升粘接效果。

其他信息：PTFE 与所有的乐泰胶、密封胶、底漆和催化剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

圣戈班集团：Rulon

Rulon 或 PTFE 材料在粘接时都应该一面受浸蚀。这面将会变暗或者变黑。浸蚀的 Rulon 或 PTFE 表面应用丙酮清洗（冲洗），在涂粘合剂前要在空气中干燥。粘合剂应该是环氧基树脂类。环氧树脂应该粘度中等，这样会使其扩散而不会下陷太多。两面都应该用刮片使得涂层平坦，涂层厚度应该在 0.05 ~ 0.10mm（0.002 ~ 0.004in）范围。随后立即将两个部件放到一起。必须用到一些夹持零件的方法，所使用的夹持压力 0.01 ~ 0.7MPa（10 ~ 100psi），0.34MPa（50psi）最佳。

参考文献

Rulon and PTFE Bearings—Bonding Techniques, Supplier design guide, Saint-Gobain Performance Plastics, 2001.

卡迪拉克塑料和化学公司：Cadco Teflon

Cadco Teflon 的不粘附和/或抗溶解性使其在粘合前要特殊处理零件表面，然后其表面就可以粘附到基片或者其他（如木头、钢和铝）材料上。

Cadco Teflon 必须用丙酮或者相似溶剂彻底清洗以除掉油脂和其他残余物，其次使用一种酸钠或者腐蚀溶解剂。为了跳过这些粘接步骤，可以用一面或者两面都浸蚀过的 PTFE 片材。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide（CP-200-92），Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

22.3 乙烯三氟氯乙烯

22.3.1 热气体焊接

Solvay Solexis：Halar ECTFE

当使用热气体焊接连接 Halar ECTFE 时，使用功率为 80W 或者更高的焊枪。使用氮气或者清洁干燥的空气时会获得高质量的 Halar ECTFE 焊缝。在焊接设备缺少干净干燥的空气时使用氮气焊接。

用同类 Halar 材料圆焊条作为焊接轮廓。不建议焊接不同类别的材料轮廓。

调整气体流速到 50 ~ 60L/min，依表 22.3 调节焊枪温度。

表 22.3 Halar ECTFE 热气体焊接温度（喷嘴内测得）

Halar ECTFE 等级	焊枪温度
901，300，350，500	380 ~ 425℃（716 ~ 797℉）；380 ~ 400℃（716 ~ 752℉）用于薄衬
902	425 ~ 495℃（797 ~ 923℉）

一般来说，焊接速度为0.1～0.5cm/s（0.04～0.20in/s）是合适的。

额外加热可能产生刺激有毒的废气。应该通风或者用适当的呼吸设备来防止暴露在可能产生的废气中。

参考文献

Halar ECTFE Design and Processing Guide，Supplier design guide（BR2003C-B- 05-1106），Solvay Solexis，2006.

ECTFE（形状：片材）

下面的焊接条件针对ECTFE：

温度：350～380℃（662～716℉）。

外力：20～25N（直径为4mm（0.16in）的焊条）。

氮气流速：40～60 L/min。

参考文献

Gibbesch B：Thermoplastic inliner for dual laminate constructions. Welding Beyond Metal：AWS/DVS Conference on Plastics Welding，New Orleans，March 2002.

Symalit：ECTFE

焊接气体（氮气）的温度应该在350～380℃（662～716℉）范围（距喷嘴端部5mm（0.197in）处）。需要的气流速度为50～60L/min。推荐的焊接压力和焊接速度见表22.4。

表22.4 Symalit：ECTFE热气体焊接压力和焊接速度

	焊接压力/N（lbf）	焊接速度/[cm/min（in/min）]
普通圆形喷嘴	10～15（2.25～3.37）	10～15（3.9～5.9）
高速喷嘴	～20（4.5）	15～20（5.9～7.9）

推荐在焊接前清洗材料和焊棒。

参考文献

The Welding of Symalit ECTFE Semi-finished Products，Supplier guide，Symalit.

22.4 氟化乙丙烯

22.4.1 热气体焊接

Symalit：FEP

必须能够准确控制焊枪温度，不能超过390℃（734℉）（喷嘴端部前5mm（0.197in）处）。材料应该在一个特殊的通风房间内处理。进行焊接时需要提供排气罩，并应靠近热聚合物。在焊接FEP时要有带有固定供给新鲜空气的呼吸装置和眼睛保护装置。严禁在加工时产生烟雾，严禁带香烟、火柴到进行焊接的车间。

参考文献

Symalit FEP Pipes and Semifinished Products，Supplier Safety Data Sheet，Symalit.

22.4.2 粘合剂粘接

杜邦：Teflon FEP

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切

试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表22.5中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表22.5中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表22.5 采用乐泰公司的粘合剂对FEP和FEP进行粘接的剪切强度 ［单位：MPa（psi）］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
非填充树脂	<0.3（<50）	<0.3（<50）	<0.3（<50）	<0.3（<50）	<0.3（<50）	<0.3（<50）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘接性能：所有粘合剂的粘合强度评价都不好。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

22.5 过氟烷氧基

22.5.1 热气体焊接

Solvay Solexis：Hyflon PFA

当使用热气体焊接连接PFA时，焊枪的温度可以达到650℃（1200℉），功率可达到900~1000W或者更高。用同类Halar材料圆焊条作为焊接轮廓，不建议焊接不同类别的材料轮廓。

调整气体流速为50~60L/min，依表22.6调节焊枪温度。

表 22.6 Hyflon PFA 热气体焊接温度（喷嘴内测得）

Hyflon 等级	焊枪温度
PFA M620	500 ~ 590℃（930 ~ 1100℉）
PFA P420	560 ~ 620℃（1040 ~ 1150℉）

一般来说，焊接速度为 5 ~ 30cm/s（2 ~ 12in/s）是合适的。

额外加热可能产生刺激有毒的废气。应通风或者用适当的呼吸设备来防止暴露在可能产生的废气中。

参考文献

Hyflon PFA Design and Processing Guide, Supplier design guide（BR2002C-B-2-1106）, Solvay Solexis, 2006.

Symalit：PFA

焊气的温度应该在 400 ~ 410℃（752 ~ 770℉）范围（喷嘴端部前 5mm（0.197in）处）。需要的气体流速为 50 ~ 60L/min。推荐的焊接压力见表 22.7。

表 22.7 Symalit：PFA 热气体焊接压力

	焊接压力/N（lbf）
普通圆形喷嘴	10 ~ 15（2.25 ~ 3.37）
高速喷嘴	~20（4.5）

焊接速度不应该超过 7cm/min（2.8in/min）。在焊接前应该用氟利根 113 清洗焊条。

参考文献

The Welding of Symalit PFA Semi-finished Products, Supplier Guide, Symalit.

22.5.2 粘合剂粘接

杜邦：Teflon PFA

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm × 25.4mm × 3.175mm（1in × 1in × 0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm（0.03in），横向速度为 0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪 4000 来确定表面粗糙度。

虽然表 22.8 中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表 22.8 中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表 22.8 采用乐泰公司的粘合剂对 Teflon PFA 和 PFA 进行粘接的剪切强度 [单位：MPa（psi）]

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/ Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
非填充树脂	<0.3（<50）	0.7（100）	2.8（400）	<0.3（<50）	<0.3（<50）	<0.3（<50）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘接性能：将 Prism 401 速粘剂和 Prism Primer770 联合使用时，对 PFA 可达到最大粘接强度。Prism 401 速粘剂可达到的粘接强度次之。其他所有粘合剂的强度评价都不好。

其他信息：PFA 与所有的乐泰胶、密封胶、底漆和催化剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

22.6 乙烯-四氯乙烯聚合物

22.6.1 热工具焊接

杜邦：Tefzel

Tefzel 可使用如热板焊接的技术焊接。当把材料加热到 271～277℃（520～530℉）后，在冷却时把零件压在一起可实现粘接。

参考文献

Tefzel Fluoropolymer Design Handbook, Supplier design guide (E-31301-1), DuPont Company, 1973.

22.6.2 超声波焊接

杜邦：Tefzel。

超声波焊接 Tefzel 证明了焊接强度可以达到基体树脂强度的 80%。这项技术的一系列发展取决于焊接接头设计和试验决定的焊接参数（如接触时间和压力）。典型的焊接条件如下：

接触压力：0.172MPa（25psi）。

循环时间：1～2s。

两个基本的接头设计是剪切接头和对接接头，这两种接头设计都有小的初始接触区以集中和控制高频的振动能量。

参考文献

Tefzel Fluoropolymer Resin. Properties Handbook, Supplier design guide (H-96518-1), DuPont Fluoroproducts, 2003.

22.6.3 热气体焊接

Symalit：ETFE

必须准确控制焊枪温度，不应超过395℃（743℉）（喷嘴端部前5mm（0.197in）处）。材料应在一个特殊的通风房中处理。焊接时需要提供排气罩，并且应靠近热聚合物。在焊接ETFE时要使用带有固定供给新鲜空气的呼吸装置和眼睛保护装置。严禁在加工时产生烟雾，严禁将香烟、火柴带到进行焊接的车间。

参考文献

Symalit ETFE Pipes and Semifinished Products, Supplier safety data sheet, Symalit.

22.6.4 粘性粘接

杜邦：Teflon ETFE

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表22.9中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表22.9中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表22.9 采用乐泰公司的粘合剂对ETFE和CTFE进行粘接的剪切强度 ［单位：MPa（psi）］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
非填充树脂	<0.3（<50）	100（0.7）	>11.4（>1650）	0.7（100）	<0.3（<50）	0.7（100）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘接性能：将Prism 401速粘剂、Prism Primer 770和3030粘合剂联合使用时，可以使ETFE产生最大的粘接强度。所有其他粘合剂的强度评价都不好。

表面处理：将 Prism Primer 770 与 Prism 401 速粘剂联合使用，使得 ETFE 的粘接性能有效地提高了。

其他信息：ETFE 与所有的乐泰胶、密封胶、底漆和催化剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

杜邦：Tefzel

因为 Tefzel 具有显著的抗化学性能，粘接前需要进行表面处理。化学腐蚀、电晕或者火焰处理使得 Tefzel 表面适合粘合剂。当表面处理好后，聚酯和环氧树脂混合物是合适的粘合剂。

参考文献

Tefzel Fluoropolymer Resin. Properties Handbook, Supplier design guide (H-96518-1), DuPont Fluoroproducts, 2003.

22.6.5 机械连接

杜邦：Tefzel

卡扣连接安装：Tefzel HT2004 的低韧性表明其他安装方法可用于此产品，尽管卡扣连接在低应变下可行。建议最大应变为 5%。

压合配合：将 Tefzel 件连接到 Tefzel 件上，压配接头可以设计成应变为 6% ~7% 的过盈配合。

自攻螺钉：自攻螺钉用来连接 Tefzel 件。两种方式（螺纹切削，当螺钉驱入时切削产生配合头；或者螺纹成型，当螺钉驱入时挤压排出材料）都可以降低成本。根据经验，凸台外径大约为螺钉直径的两倍，螺纹配合长度大约为螺钉直径的 2.5 倍，以达到最大的保持力。润滑剂应该避免在最大剥离力矩下使用。

带螺纹机械嵌件：螺纹嵌件用来连接 Tefzel 件。可以成型到位、压入或者超声波嵌入。

参考文献

Tefzel Fluoropolymer Resin. Properties Handbook, Supplier design guide (H-96518-1), DuPont Fluoroproducts, 2003.

杜邦：Tefzel

铆接法：铆钉或者铆柱可以用来形成固定的机械连接，其头部由特殊工具成型，若给铆钉加热更好。因为成型头部如果暴露在高温下可能会部分恢复本来的形状，连接就会变松。高温成型就是为了减少复原现象。

卡扣连接装配：卡扣连接的优点是连接强度不会因长时间蠕变而减弱。两种卡扣连接如下（见图 22.2）：

1）圆柱卡扣连接用来连接钢轴和 Tefzel 毂。

2）悬臂式卡扣连接用来把 Tefzel 件嵌入到另一个件。

在悬臂式卡扣连接中，毂内最大应变是过盈量和直径的比值（×100%）。推荐最大应变为 5%，对悬臂式卡扣连接也推荐用 5% 的最大应变。

压合安装：如果 Tefzel 件和金属件连接，应用低应变。把冷插件插入到加热毂中装配通

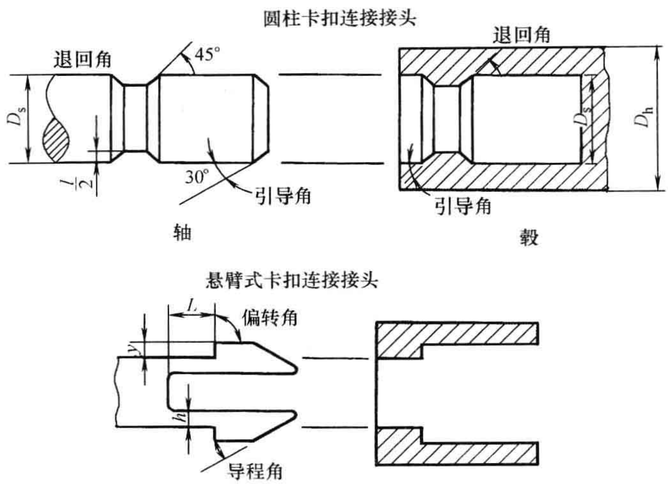


图 22.2 圆柱和悬臂式卡扣连接接头。

常比较简单。

参考文献

Tefzel Fluoropolymer Design Handbook, Supplier design guide (E-31301-1), DuPont Company, 1973.

22.7 改性氟带烷氧基

22.7.1 热气体焊接

Symalit：MFA

焊气温度应该为395~405℃ (743~761℉)(喷嘴端部前5mm (0.197in) 处)。需要的气体流速为50~60L/min。推荐焊接压力见表22.10。

表22.10 Symalit：MFA 热气体焊接压力

	焊接压力/N (lbf)
普通圆形喷嘴	10~15 (2.25~3.37)
高速喷嘴	~20 (4.5)

焊接速度不应该超过7cm/min (2.8in/min)。在焊接前应该用氟利根113清洗焊条。

参考文献

The Welding of Symalit MFA Semi-finished Products, Supplier guide, Symalit.

第 23 章　离子聚合物

23.1　概述

巴斯夫股份公司：Lucalen I

由于采用的是热塑性塑料，Lucalen 模塑制品和薄膜可以通过施加热和压力焊接在一起。采用这些技术的实例有振动焊接、超声波焊接、摩擦焊接、热气体焊接和热板焊接。

通过间隙密封、热接触和热脉冲技术，可以对薄膜进行热密封。控制焊缝质量的主要因素有温度、压力和时间。

参考文献

Lupolen, *Lucalen Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide（B 581 e/(8127) 10.91），BASF Aktiengesellschaft，1991.

23.2　热密封

巴斯夫股份公司：Lucalen I

离子键聚合物可以在 20℃（36℉）时被热密封，这比聚乙烯所需的温度低。此外，由于它们的高热粘性，可以使其形成致密的密封。离子键聚合物的另一个重要性质是，当存在像液体、灰尘、脂肪和油这样的污染物时，不会妨碍它们热密封的可靠性。

参考文献

Lupolen, *Lucalen Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide（B 581 e/(8127) 10.91），BASF Aktiengesellschaft，1991.

23.3　粘合剂粘接

杜邦公司：Surlyn

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm（0.03in），横向速度为 0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪 4000 来确定表面粗糙度。

虽然表 23.1 中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表 23.1 中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料

粘合性的影响。

表23.1 采用乐泰公司的粘合剂对Surlyn离聚物与离聚物进行粘接的剪切强度 [单位：MPa（psi）]

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
7940级 4 rms	1.4 (200)	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	3.1 (450)	>8.3① (>1200①)
7940，表面粗糙 68rms	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	3.1 (450)	>8.3① (>1200①)
8940级 4rms	1.4 (200)	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	2.4 (350)	>8.3① (>1200①)
8940，表面粗糙 68rms	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	2.4 (350)	>8.3① (>1200①)
9950级 4rms	0.3 (50)	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	2.4 (350)	>8.3① (>1200①)
9950，表面粗糙 68rms	5.5 (800)	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	>8.3① (>1200①)	2.4 (350)	>8.3① (>1200①)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 由于块剪切试验的样品严重变形，在粘合剂可承受的范围内达到实际的粘合强度之前已经停止试验。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：Prism 4011、Super Bonder 414和乐泰3105光固化粘合剂所形成的化学键的强度要强于离聚物基质。像Flashcure 4305光固化粘合剂、Hysol E-00CL、E-30OL环氧粘合剂和Hysol U-05FL聚氨酯粘合剂的粘合强度均可以与使基底失效时的强度相媲美。Speedbonder H3000和H4500这两种结构粘合剂均可以达到最低需求的粘合强度。除了由Surlyn 9950制成的Block Max 380这种低粘合强度的粘合剂外，由Surlyn根据粘合性评定的粘合剂三个等级是没有显著差异的。

表面处理：表面粗糙化处理可以大大提高Black Max 380速凝胶在统计上的粘合强度，但是对于Depending 330粘合剂来说，在统计上就没有那么显著的作用。表面粗糙化处理对Prism Primer 770、7701，Prism 401、4011，Surper Bonder 414瞬间粘合剂，乐泰3105和3311光固化粘合剂的作用是无法确定的，正如经过处理和未处理的离聚物一样，合成的化学键要比离聚物基底本身强。

其他信息：未凝固的氰基丙烯酸酯粘合剂会使离聚体产生应力裂纹，因此表面上的任何

多余的粘合剂都应该立即清除。推荐使用的表面清洁剂是异丙醇与不含乌氨酸脱羧酶的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

23.4 机械连接

杜邦公司：Surlyn

模内成型嵌件：沙林已经将模内成型嵌件技术应用于很多领域中，但是还需要进行全面的样机试验。

在嵌件设计时，应该考虑下面几点：

1）嵌件必须是干燥的，不含油、油脂以及污垢。

2）嵌件不应该有锋利的边缘，而且任何滚花都应该是圆形轮廓。

3）为了改善粘附力，可以将金属嵌件用感应加热器加热到260℃（500℉）。

4）涂底漆的嵌件同样可以提高粘附力。

参考文献

Surlyn Ionomer Resin Part and Mold Design Guide, Supplier design guide（E-37240）, DuPont.

第24章　酮基树脂

24.1　聚醚醚酮

24.1.1　概述

威格斯：Aptiv（形状：薄膜）

威格斯公司已经收到了一些成功利用超声波和激光焊接技术粘接而成的Aptiv薄膜样品。

参考文献

Heat Sealing, Welding & Laminating APTIV Film, Supplier design guide, Victrex plc.

威格斯：Victrex 聚醚醚酮

威格斯聚醚醚酮可以使用传统的热塑性焊接技术粘合。然而，在焊接形成化学键的过程中，这些具有极高熔融温度和相当数量的能量也随之进入聚合物中。应用热板、摩擦和近场超声波焊接技术已经取得了令人满意的成果。

参考文献

Victrex Processing Guide, Supplier design guide (604/1.5M), Victrex plc, 2004.

24.1.2　热工具焊接法

威格斯：Victrex 450G

在焊接之前，聚醚醚酮饰板要在150℃（302℉）的真空干燥炉中进行干燥达3h。当加热板在400℃（752℉）的最佳条件下会产生六条焊缝，当加热板在较低的350℃（662℉）温度下会产生六条冷焊缝，另外六个会在400℃（752℉）下，限位器设置不正确时产生，这样在焊接循环过程中就没有压力。

在常压焊接条件下，当加热板的温度从400℃（752℉）下降到350℃（662℉）时，其结晶度将会从32%上升到34%，但是对晶体取向没有影响。

在可研究的范围内，结晶度和取向度对力学性能没有影响。

在400℃（752℉）常压条件下焊缝的平均抗拉强度和拉伸冲击强度分别为原材料强度的91%和62%。在350℃（662℉）条件下有可能取得与原材料相似的强度，但是不可能完全一致。

在低压条件下得到的焊缝的力学性能是很差的，这是由于加热板温度在400℃（752℉）而不是350℃（662℉）时所产生的孔隙压力的影响，而另一种可能性是材料降解的影响。

参考文献

Stevens SM: Structure property relationships in polyetheretherketone hot plate welds. ANTEC 1998, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Atlanta, May 1998.

威格斯：Victrex 450G

对聚醚醚酮的焊接试验是在热板焊接机上进行的。在所有的焊接试验中，最好的样品接

近加热板的速度应维持在 0.2m/s（7.9in/s）。将熔体限位器的深度固定在 0.6mm（0.024in）。以下为焊接条件：

加热压力：0.3N/mm^2（43.5psi）。

加热时间：90s。

热板温度：400℃（752℉）。

焊接压力：0.3N/mm^2（43.5psi）。

冷却时间：30s。

试验结果表明，在温度为 250℃（482℉）的空气中进行老化，与原材料相比，聚醚醚酮焊缝的拉伸性能会明显退化。在两种情况下抗拉强度和屈服强度都会增加，但是断裂伸长率会有所下降。

在沸腾的水中老化 21 天，无论是聚醚醚酮焊缝还是原材料本身的拉伸性能都不会产生很明显的变化。

断裂力学测试显示，暴露在温度为 250℃（482℉）的空气及沸水中之后，聚醚醚酮母体材料和焊缝的断裂韧性发生了细小的变化。

经过测量，焊接过的聚醚醚酮中最大的纵向残余应力为 15N/mm^2（2200psi），（在焊接后，一个样品在常温下要进行 5 个月的老化）。对于聚醚醚酮样品来说，老化 12 个月可以使最大应力减小到 12N/mm^2（1700psi），但是继续进行老化到 21 个月或 28 个月，样品的最大应力没有进一步削减。

在沸水中老化了长达 72h 的聚醚醚酮样品的残余应力没有进一步减少。然而，在温度为 250℃（482℉）的空气中老化的聚醚醚酮样品，经过 8h 后其最大残余应力减小到 9N/mm^2（1300psi）、经过 72h 后其最大残余应力减小为 0.2N/mm^2（30psi）。

参考文献

Tavakoli SM, Leggatt RH: Assessment of ageing properties and residual stresses in PEEK welds. ANTEC 1997, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Toronto, May 1997.

24.1.3 超声波焊接

威格斯：Victrex 聚醚醚酮 450G

对威格斯聚醚醚酮 450G 进行的近场超声波焊接试验表明，采用喷射接头的效果要优于剪切接头。使用 5MPa（725psi）的焊接压力和 1.0s 的焊接时长可以得到具有高振幅的（70μm，即 0.0028in）良好的焊接强度。当焊接压力不断增加，以致超过这个界限水平时，在接缝处将会产生不可接受的大量飞边。威格斯聚醚醚酮不适合进行远场的超声波焊接。

参考文献

Victrex Polymers for Medical Applications, Supplier technical report, ICI Advanced Materials.

聚醚醚酮（注意：单向的；增强材料：碳纤维）

用仅用于热塑性塑料的能量引导块对复合材料进行超声波焊接可以产生极好的粘接。复合材料焊接后的短梁剪切强度与压缩模制品的短梁剪切强度基本相等。对于聚醚醚酮复合材料（聚醚醚酮 APC-2）来说，像其他的半晶聚合物一样，要想将材料加热到其熔融温度以上就必须有高功率的输入。因此，一般来说，试图用比例为 1∶1、1∶1.5 和 1∶2 的助推器对零件进行焊接的结果都是不成功的。然而，使用比例为 1∶2.5 的助推器（振幅为

0.028mm，即0.001in），在超过414kPa（60psi）的压力下，对零件进行焊接超过4s的时间后的焊接效果是非常好的。焊接时间的控制对在焊件不变形的情况下形成高强度的粘合结构的过程起着至关重要的作用。

参考文献

Benatar A, Gutowski TG: Ultrasonic welding of thermoplastic components. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

24.1.4 振动焊接

威格斯：Victrex 450G

针对聚醚醚酮，在不同的焊接时间条件下使用不同的压力对其进行振动焊接，其目的是为了能够使其焊缝产生不同的力学性质。焊接时间在2.5～15s范围，焊接压力在1～5N/mm²（145～725psi）范围，焊接频率为200Hz，振幅为1.4mm（0.055in），并且冷却时间为1.5s。

力学性能结果表明，要想得到符合要求的焊缝，其焊接压力必须为2N/mm²（290psi）或者是3N/mm²（435psi），并且（在拉伸试验结果的基础上）其最佳的焊接条件是在压力为3N/mm²（435psi）的情况下进行时长为5s的焊接，这样其焊接强度可以达到母体材料本身强度的92%～95%。

焊缝的平均结晶度为22%～23%（比母体材料本身低8%），并且，在可研究的范围内不受焊接时间和焊接压力的影响。

在压力为2N/mm²（290psi）时，在结晶相中约有13%的分子是按照焊缝流向平行排列的，而这一数据在压力为3N/mm²（435psi）时为11%。非晶相取向大约比结晶相低2%。

在焊接中央区域内包含着比母体材料晶球更小的晶球，因此，其冷却速度更快，并且通过在可见的焊接热影响区内改变晶球的形状使其从母体材料中分离出来。该流动区域内还包含着一个与焊缝相似且包含一条中心线的中心区域，因此得到了充分的熔融，并且经历了相似的冷却状态。

在拉伸试验和焊缝中心线的拉力冲击试验中，失效一般发生在可见的焊接热影响区内。

参考文献

Stevens SM: Structure/property relationships in polyetheretherketone vibration welds. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

24.1.5 激光焊接

聚醚醚酮（形状：4mm（0.157in）厚的注射成型饰板）

在整个焊接长度中，准同步焊接需要以一束激光作为引导，通过一个反射镜系统对连接表面进行多次相对高速的扫描（高达10m/s，即33ft/s）。这确保了粘附表面加热和塑化的（准）同步性和均匀性，并且使由于受到压力而扭曲的零件在焊接过程中被焊接在一起成为了可能。

连接表面为35mm×4mm（1.38in×0.157in）。应用于吸收部分的炭黑质量分数为1.0%。使用的激光为波长是1064nm的一种固态激光（Nd：YAG）。连续波运行的激光的最大输出功率大约为250W。

最高的焊接强度（40.44N/mm^2，即5865psi）预示着最大的凝固强度为13W/cm^2，熔化位移为0.7mm（0.028in），最低的扫描速度0.1m/s（3.9in/s），0.7mm的熔化位移可将溢出的可塑性材料挤出连接区域，从而确保在焊缝接合处的良好力学性能和热量的均匀化。除此之外，任何可能存在热损坏的材料都将被移出连接区域，使焊接强度尽可能地提高。当熔化位移大于0.7mm（0.028in）时，挤出流动的增强作用就变得没有那么显著了。

参考文献

Potente H, Fiegler G, Becker F, Korte J: Comparative investigations on quasisimultaneous welding on the basis of the materials PEEK and PC. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

24.1.6 电阻植入焊

APC-2/AS4（形状：压缩成型的16层单向复合层压材料；增强材料：碳纤维）

一项以不锈钢网作为发热元件的关于热塑性复合材料APC-2/AS4的电阻焊接的试验研究已经开始进行，其在单搭接剪切结构样品中采用斜坡电压技术。试验结果表明，网孔的大小对焊接强度有着一定的影响。样品焊接采用的加热元件是由直径为0.04mm（0.0016in）的金属丝、0.08mm（0.031in）厚的网格和0.089mm（0.0035in）的开启间隙组成的，得到置信度为95%的焊接强度值为49.01MPa（7108psi）。高的焊接强度可以认为是因为温度在整个焊缝内均匀分布、加热元件被完美注入、小范围的机械啮合形成和聚合物在焊接接口良好扩散的作用。在更高的处理温度450℃（842℉）时，样品焊件呈现出最高的焊接强度。

参考文献

Yousefpour A: Resistance welding of thermoplastic composites using metal mesh heating elements. Joining Plastics 2006, Conference proceedings, London, UK, April 2006.

聚醚醚酮（形状：2mm（0.079in）厚的层压材料；增强材料：50%碳纤维）

对含有聚醚酰亚胺的聚醚醚酮的焊接性进行了研究，并且采用以不锈钢网作为加热元件的电阻焊接法对聚醚醚酮层压材料进行焊接。

试验结果表明，当在焊接过程中加入聚醚酰亚胺时，聚醚醚酮能够愈合。聚醚醚酮/碳纤维接合处的剪切强度与焊接时间成线性增加关系，但是，当焊接时间不变时，剪切强度将在焊接压力为0.3~0.5MPa（43~72psi）时达到最大值。

参考文献

Yan J, Wang X, Qin M, Zhao X, Yang S: Resistance welding of carbon fibre reinforced polyetheretherketone composites using metal mesh and PEI film. *China Welding*, 13 (1), p. 71, May 2004.

聚醚醚酮（形状：层压；增强材料：碳纤维）

大型的电阻焊接采用不同的技术：单步（LSS）和多步（LMS）焊接。前者的技术就像一步焊接过程一样，利用一个单一的发热元件对选定的焊接区域进行焊接。后一种技术利用了三个独立的加热元件作为连续焊接过程的一部分，其中每一个覆盖连接区域的三分之一。

在接合处的重叠部分选择2.5cm（1.0in）长，以提供适当的剪切试样，接合处的长度为30.5cm（12.0in）。

对于长为35.6cm（14.0in），宽为2.5cm（1.0in）的LSS加热元件来说，其对功率的要求为42.8V和14.8A。这些参数相当于将633W的功率输入连接界面区，目的是软化和粘接

非晶质聚醚酰亚胺夹层。当压力为690kPa（100psi）的恒压时，其保压温度为260℃（500℉），保压时间为30s。

对于长为15.2cm（6.0in），宽为10.2cm（4.0in）的LMS加热元件来说，其功率的要求为18.3V和59.1A，也就是1081W的焊接功率。当压力为690kPa（100psi）的恒压时，其保压温度为260℃（500℉），保压时间为30s。第一步是进行焊接并且在进行下一步之前让其在低于母体材料玻璃化的温度（对于聚醚醚酮来说约为143℃（289℉））下进行冷却。为了进行第二和第三焊接步骤，以达到全部接合处的完全焊接，这一程序将会自动重复进行。

试验结果表明，大规模的焊接在接合处所取得的剪切强度与早期报道中的小规模（试样）的焊接的强度值是一致的。与LSS焊接相比，LMS的焊接均匀性更高，LMS焊接的搭接剪切强度也更高。发热元件的纤维取向影响着焊接的均匀度和强度。当加热元件的纤维取向垂直于试样载荷时，其强度有下降趋势。在接合区域使用连续的电阻焊接，此过程中减少发热元件的长度已经将不均匀加热和过热现象降到最低。

参考文献

McKnight SH, Holmes ST, Gillespie JW, Lambing CLT, Marinelli JM: Scaling issues in resistancewelded thermoplastic composite joints. *Advances in Polymer Technology*, 16 (4), p. 279, 1997.

聚醚醚酮（形状：层压；增强材料：碳纤维）

对于在表面涂上一层（S-2）/聚醚醚酮发热元件的7075-T6铝合金和（IM-7）/聚醚醚酮碳纤维层压材料来说，采用电阻加热融合焊接方法而得到高质量的接头的可行性已经得到证实。接合处的C-扫描光片和光学显微图显示出整个粘接区域的大部分都是均质的，这一数据表明熔合连接已经达到了很高的质量。从开始到结束的几分钟中，其得到的搭接剪切强度接近20MPa（2900psi）。

对保压时间和使用压力进行研究，以确定工艺参数与接头质量性能之间的影响趋势。

铝的高导热性会顺着粘合区域产生很大的温度梯度，这可能对最终的接头质量和性能造成不利的影响。

接头的失效一般都发生在玻璃/聚醚醚酮金属箔的分界面上，因此必须发展相应的技术，以提高金属箔片对热塑性聚合物的粘合性。此外，加热元件外露部分的过热问题必须加以控制。这一点可以通过主动制冷，或者利用嵌入式加热元件连接来完成。

参考文献

McKnight SH, Holmes ST, Gillespie JW, Lambing CLT, Marinelli JM: Resistance heated fusion bonding of carbon fiber/PEEK composites and 7075-T6 aluminum. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

24.1.7 热封

威格斯：Aptiv（形状：薄膜）

为了生产出密封袋，两层Aptiv薄膜需要进行热封，例如对电子器件进行封装。作为一种热塑性材料，威格斯聚醚醚酮的热封是很容易实现的，只需要将薄膜加热到其熔化温度，并对熔融态的聚合物进行加压使其紧密接触即可。340~370℃（644~698℉）作为标准的加工温度而得到应用，这取决于设备参数。为了使熔体表面进行紧密的接触和连接，就必须留有几秒钟的接触时间。根据薄膜厚度和设备的不同，对其施加的压力也是不同的。如果在

热封部分出现了过度流动和稀薄现象，那么很可能是因为施加了过大的压力造成的。

参考文献

Heat Sealing, *Welding & Laminating APTIV Film*, Supplier design guide, Victrex plc.

24.1.8 粘合剂粘接

聚醚醚酮

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表24.1中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表24.1中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表24.1 采用乐泰公司的粘合剂对聚醚醚酮之间进行粘接的剪切强度 ［单位：MPa（psi）］

材料成分		乐泰粘合剂					
		Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
Victrex 450G control	由美国威格斯提供的非填充树脂，4rms	1.0 (150)	1.7 (250)	1.7 (250)	1.4 (200)	2.4 (350)	7.6 (1100)
450G，粗糙	22 rms	4.8 (700)	2.4 (350)	2.4 (350)	2.1 (300)	2.4 (350)	7.6 (1100)
PEEK 450 CA30	由美国威格斯提供的30%碳纤维	1.0 (150)	1.4 (200)	3.1 (450)	1.7 (250)	3.1 (450)	6.6 (950)
Thermocomp LF-1006	由LNP工程塑料公司提供的30%玻璃纤维	0.7 (100)	1.7 (250)	3.8 (550)	2.8 (400)	3.5 (500)	8.3 (1200)
Lubricomp LCL-4033 EM	由LNP工程塑料公司提供的15%碳纤维，15%乙烯共聚树脂	0.7 (100)	2.8 (400)	2.1 (300)	1.7 (250)	3.5 (500)	6.2 (900)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经

受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘接性能：对于聚醚醚酮来说，乐泰 3105 和 Flashcure 4305 型光固粘合剂的粘合强度是最高的。除了热熔性粘合剂以外，其他粘合剂对于不饱和的聚醚醚酮都显示出良好的粘合强度。

表面处理：对于聚醚醚酮所能达到的粘合强度来说，表面粗糙度对其不是没有影响就是有显著的增加。将 Prism Primer 770 与 Prism 401 瞬间粘合剂，或者是 Prism 4011 医疗器械瞬间粘合剂与 Prism Primer7701 同时使用时，对聚醚醚酮的粘合性在大体上没有明显的影响。然而，Prism Primer 770 和 7701 使 PEEK 450 CA 30 和 Thermocomp LF-1006 grades 的粘合强度在统计上有了明显的提升。

其他信息：聚醚醚酮与所有的乐泰粘合剂、密封剂、底层涂料和催化剂都是相适用的。推荐使用的表面清洁剂是异丙醇与不含鸟氨酸脱羧酶的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

Invibio：聚醚醚酮 Optima LT1（形状：注射成型平板）

被选作粘接试验的粘合剂有两种——丙烯酸和环氧树脂。该试验对影响接合处剪切强度的一系列参数进行了评估。这些参数可以对表面进行改性，通过喷砂处理（用 NK60 粗砂）或进行 Nd：YAG 激光处理或者是采用适当的涂料（乐泰 7701）进行涂抹。

使用 NK60 对腈基丙烯酸酯单组分粘合剂（乐泰 4061）粘合区域进行喷砂处理后，其接合处剪切强度可以达到最高的平均值（6.2 MPa，即899psi）。未经处理的样品的接合处剪切强度的平均值仅仅为 1MPa（145psi）。使用波长为 355nm 和 532 nm 的 Nd：YAG 激光对聚醚醚酮粘附体进行处理，其处理速度为 10 mm/min、20 mm/min 和 100mm/min（0.4in/min、0.8in/min 和 3.9in/min），使用乐泰 4061 粘合剂进行粘合的所有接口中发生失效的部分集中在聚醚醚酮中。这些不同样品的接合处剪切强度大小为 3.7 ~ 4.6MPa 不等。

采用 EPO-TEK 301-2 和乐泰 Hysol M-31CL 的双组分环氧粘合剂对聚醚醚酮粘附体进行粘合的情况，其进行喷砂处理后所能达到的平均搭接剪切强度分别为 4.6MPa（667psi）和 4.3MPa（624psi）。所有这些接头显示出在粘合剂的边界和产生内聚力的部分会发生粘合剂的混合破坏。在所有接头失效的分界面区域，这两种粘合剂的控制接头可以提供的搭接剪切强度分别为 1.3MPa（189psi）和 1.7MPa（247psi）。

经过喷砂处理的丙烯酸粘合剂为乐泰 4061 和乐泰 4305，所提供的平均剪切强度分别为 5.9MPa（856psi）和 4.7MPa（682psi）。而控制接头所能提供的平均剪切强度仅仅为 1.0MPa（145psi）和 1.7MPa（247pai）。此外，所有经过喷砂处理的接头在粘合剂的边界和产生内聚力的部分都会发生混合破坏。控制接头的失效全部发生在分界面上。

参考文献

Tavakoli M, Green S, Cartwright K, Mycock S: Joining of polyetheretherketone (PEEK) for short and long term implantable medical device applications. Medical Polymers 2004, Conference proceedings, Dublin, Ireland, November 2004.

威格斯：威格斯聚醚醚酮（Victrex）

大部分类型的粘合剂都适用于以威格斯聚醚醚酮为基底的原材料。环氧树脂、丙烯酸酯、厌氧性和硅树脂粘合剂已经能够成功地对威格斯聚醚醚酮进行粘合。在表 24.2 中列出了一系列典型的粘合剂以及与它们相对应的粘合强度。

表 24.2　各种粘合剂对以威格斯 PEEK 为基底的原材料间的粘合强度

粘　合　剂	类　型	制　造　商	失效应力/MPa（psi）			
			23℃（73℉）	120℃（248℉）	150℃（302℉）	200℃（392℉）
S-4215 RA	丙烯酸胶带	ATP Adhesive Systems	0.2（29）CF	0.03（4.3）CF		
爱牢达 AV138M + HV998	环氧树脂	Huntsman	5.5（800）IF + CF	3.4（500）CF		
爱牢达 AV119	环氧树脂	Huntsman	41.8（6000）SF	4（575）CF	1.5（225）IF + CF	
HAF 8401	丁腈橡胶酚醛树脂	Tesa AG	47.3（6850）SF	2.4（350）IF	1.9（275）IF	
Duralco 4460	环氧树脂	Cotronics Corp	1.7（250）ICF	—	0.5（75）CF	0.4（58）IF + CF
Duralco 4703	环氧树脂	Cotronics Corp	16.7（2400）SF	—	3.4（500）CF	1（145）CF
EPO-TEK 353 ND	环氧树脂	Epoxy Technology	36.2（5250）SF	—	3.1（450）CF	1（145）IF + CF
Duralco 4525	环氧树脂	Cotronics Corp	3.3（475）CF	—	—	0.6（87）CF

注：IF 为在粘合剂/基体交界处脱胶；CF 为胶合体失效，在基底两边脱胶；SF 为在威格斯聚醚醚酮基底的粘合剂具有足够的强度而造成失效；ICF 为介于界面失效和胶合体失效之间的切断断裂传播的混合模式失效。

有许多的可行的表面处理方式可以提高粘合剂对威格斯聚醚醚酮的粘合强度。表 24.3 对使用这些最常见的技术所能达到的粘合强度进行了对比。为了得到这些测量数据，将威格斯 450G 样品与苯乙哌啶酮（AV138M/HV998）中的双组分环氧树脂在单搭接剪切几何体处进行相互粘接，并且在 100℃（212℉）的条件下进行周期时长为 15min 的固化。

表 24.3　威格斯 450G 表面处理技术的粘合强度对比

表 面 处 理	粘合强度/MPa（psi）	表 面 处 理	粘合强度/MPa（psi）
未经处理	0.7（102）	受激准分子激光	5.6（812）
粗糙化	2.1（305）	紫外线灯照射	5.0（730）
酸浸蚀	505（798）	电晕处理	5.0（722）

参考文献

Victrex Processing Guide, Supplier design guide（604/1.5M）, Victrex plc, 2004.

聚醚醚酮（形状：复合材料）

对于聚醚醚酮粘附体来说，进行等离子体处理后将大幅提升其抗剥强度，更为重要的

是，将造成失效的粘合剂-聚醚醚酮交界处转移到粘接层或聚醚醚酮粘附体中。

参考文献

Millington S, Shaw SJ: Surface treatment approaches for polymer composites. The Joining of Plastics and Polymer Composite Materials, IMechE seminar proceedings, Cambridge, UK, October 2002.

威格斯：Victrex 450G（形状：未增强）；**APC-2**（增强材料：碳纤维）

在这项研究中所使用的粘合剂包括普乐士 CP792（由 Permabond 提供的一种氰基丙烯酸盐粘合剂），爱牢达 AW106 + HV953V 硬化剂（由 Ciba 专用化学品提供的一种双组分环氧树脂）和 AF163-2K（由 3M 公司提供的一种改质环氧树脂）。

进行试验所采用三种准分子激光为氯化氙（波长为 308nm）、氟化氩（波长为 193nm）和氟化氪（波长为 248nm）。氯化氙激光的脉冲能量为 120mJ，而氟化氩和氟化氪激光的脉冲能量是 100mJ，其脉冲持续时间为 10 ~ 15ns。光束通过一个焦距为 500mm（19.7in）的反射镜聚集在粘附体中 6mm × 3mm（0.24in × 0.12in）的长方形区域上。对每一个样品都要进行处理，宽度大约为 25mm（1in）。

这项工作的结果显示，使用氰基丙烯酸盐粘合剂对聚醚醚酮进行粘合的情况中，所有准分子激光都非常有效地提高了其接头强度。氯化氙和氟化氪激光在 2Hz 时可以提供最高的接头强度（平均搭接剪切强度分别为 4.08MPa（592psi）和 4.78MPa（693psi）），然而氟化氩激光则是在 25Hz 时提供最高的平均搭接剪切强度 5.17MPa（750psi）。绝大多数的接头在粘附体内失效。

使用 AF163 环氧树脂粘合剂进行粘合的 APC-2 接头，在经过 25Hz 的氟化氩激光处理后，可以使在粘附体内发生失效的百分比达到最高（57%）。氟化氪激光在 5Hz 时依然是有效的。

经过激光处理的聚醚醚酮和 APC-2 接头，在 50℃（122℉）以及相对湿度为 96% 的环境中暴露放置几周后，其显示出了优异的抗老化性。在这样的环境条件下，将聚醚醚酮接头和 APC-2 接头分别放置 1750h 和 2060h，它们均没有出现强度损失。

参考文献

Tavakoli SM, Riches ST: Laser surface modification of polymers to enhance adhesion. Part II — PEEK, APC-2, LCP and PA. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

威格斯：Victrex 聚醚醚酮

许多粘合剂都可以对威格斯聚醚醚酮进行粘接，无论是与其本身还是与其他的材料连接。粘接强度很大程度上取决于粘接之前的表面处理。

粘合剂类型：环氧树脂、丙烯酸酯、厌氧粘合剂和硅酮胶都可以与威格斯聚醚醚酮进行粘合。然而，环氧树脂粘合剂可以提供迄今为止最强的粘合强度，且没有遇到应力开裂现象。

表面处理：准备进行粘合的表面必须是清洁的、干燥的且无油脂。三氯乙烷溶剂可以对表面进行脱脂。更多积极的表面活化措施如表面粗加工、火焰处理或者是铬酸蚀刻都可能有助于粘合强度的提高。使用通用的爱牢达 100 环氧树脂粘合剂，经过火焰氧化后，其粘接强度可以比脱脂表面增加 20% 以上，而铬酸蚀刻可以比脱脂表面的粘合强度高出大约 30%。

参考文献

Victrex Polymers for Medical Applications, Supplier technical report, ICI Advanced Materials.

24.2 聚醚酮醚酮酮

24.2.1 概况

巴斯夫公司：Ultrapek

Ultrapek 的焊接可以采用热工具焊接、振动焊接、旋转焊接和超声波焊接技术。由于 Ultrapek 的低损耗因数，所以不能采用高频焊接。热气体焊接主要是手工进行，而且主要应用于单个零部件的配装和短期生产。在所有的焊接技术中值得注意的一点是，进行配装的零部件必须是干燥的。

参考文献

Ultrapek Product Line，*Properties*，*Processing*，Supplier design guide（B 607 e/10.92），BASF Aktiengesellschaft，1992.

24.2.2 热工具焊接

巴斯夫公司：Ultrapek

热工具焊接主要用于大型零部件的配装，比如管道和薄板。Ultrapek 需要较高的热工具温度，所以常规的不粘涂层是不适合的。

在热接触的过程中，热工具必须不断地清除粘附残留物，因此，应该优先考虑热辐射式的非接触加热。焊接接头与热板之间应该有 0.2 ~ 0.6mm（0.008 ~ 0.024in）的距离。由于焊接需要很高的温度，所以转换时间必须很短——如果可能的话，要少于 1s，为的是避免熔融态的表面冷却到凝固点以下。

值得注意的是，在以下焊接参数条件下已经取得了良好的焊接结果：

热工具温度：400 ~ 500℃（752 ~ 932℉）（接触）。

加热时间：10 ~ 90s。

压力：0.5 ~ 5MPa（72 ~ 725psi）。

参考文献

Ultrapek Product Line，*Properties*，*Processing*，Supplier design guide（B 607 e/10.92），BASF Aktiengesellschaft，1992.

24.2.3 超声波焊接

巴斯夫公司：Ultrapek

由于它的多功能性，超声波焊接在大型生产中可以经济且同步地与自动化单元结合起来完成注射成型。它主要适用于面积为 200cm^2（31in^2）的截面或者面积为 10cm^2（1.55in^2）的焊缝。如果焊件比较大，则必须有两个或两个以上的焊接过程同时或相继进行。对于焊接过程来说，焊接时间必须少于 2s，因此应采用极短的焊接周期。接口几何形状的设计必须符合超声波焊接的要求。这个参数的确定取决于零件的设计和材料的自然条件，且应该进行反复试验并从中找出最优化的方案。

一个 20kHz 的装置的典型焊接参数如下：

振幅：40 ~ 60μm。

焊接时间：0.3～0.8s。

压力：0.5～5MPa（72～725psi）。

参考文献

Ultrapek Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide（B 607 e/10.92）, BASF Aktiengesellschaft, 1992.

24.2.4　振动焊接

巴斯夫公司：Ultrapek

摩擦和振动焊接主要应用于在同一平面上大的截面或者是仅在一个方向上弯曲的曲面焊接。接缝的设计必须使其在振动方向上有足够的运动空间。被加热的准备进行粘接的表面的振幅值取决于机器的频率，即1.0～4.0mm（0.04～0.16in）对应100Hz；0.5～2.0mm（0.02～0.08in）对应240Hz。

焊接需要大约2～10s的时间，而压力应为0.5～2MPa（72～290psi）。

参考文献

Ultrapek Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide（B 607 e/10.92）, BASF Aktiengesellschaft, 1992.

24.2.5　热气体焊接

巴斯夫公司：Ultrapek

热气体焊接适用于对大型的、复杂的零部件进行装配。气体温度应该在450～500℃（842～932℉）范围，且焊条的直径大小应该等于零部件能够被焊接在一起的厚度。

参考文献

Ultrapek Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide（B 607 e/10.92）, BASF Aktiengesellschaft, 1992.

24.2.6　粘合剂粘接

巴斯夫公司：Ultrapek

粘合剂用于对Ultrapek部件与从Ultrapek中提取的部件，或者是与基于环氧树脂、氰基丙烯酸酯、聚亚胺酯、硅有机树脂和其他高分子材料的部件进行粘合。其粘合强度的大小很大程度上取决于对粘附体的预处理情况。对表面进行粗加工处理和使用相应的溶剂进行脱脂处理后，可以达到最佳的效果。其他可以提高粘合强度的技术包括进行等离子处理或采用重铬酸钾/钾硫酸进行蚀刻。没有出现环境应力裂纹问题。

参考文献

Ultrapek Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide（B 607 e/10.92）, BASF Aktiengesellschaft, 1992.

24.2.7　机械连接

巴斯夫公司：Ultrapek

铆接和卷边：Ultrapek部件可以通过螺纹和（有一定预留量）卡扣连接器固定在一起：

如果带螺纹的连接件承受很大的载荷且不得不频繁地装拆和再加工，为了在 Ultrapek 成型时达到以上目的，在凹口成型过程中可以采用带螺纹的金属嵌件。将该嵌件进行加热并压入凹口处，或者采用更好的方式，即用超声波技术将其植入。套管、轴衬、螺栓以及其他金属零件都可以使用超声波焊接机进行连接。

在 Ultrapek 零部件与其他材料之间会形成稳定的粘合，例如：在成型过程中，使用铆钉栓将会使 Ultrapek 零部件与金属片的粘接变得很容易。当金属部件嵌入铆钉柄部后，其顶部将通过特殊的工具采用超声波方法进行成型加工。

在卷边时，Ultrapek 材料突出的部分也可以通过超声波技术进行增塑和成型处理，以便于金属或其他零部件与其相粘附。

参考文献

Ultrapek Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 607 e/10. 92), BASF Aktiengesellschaft, 1992.

24. 3 聚醚酮

24. 3. 1 概述

威格斯：威格斯聚醚酮

威格斯聚醚酮自身的焊接可以采用常规的超声波和摩擦焊接技术。当使用这些技术时切记的是，为了获得质量良好的焊缝，应该对聚合物输入较大的能量，因为威格斯聚醚酮的熔点要比大多数聚合物都高。

参考文献

Victrex PEK Properties and Processing, Supplier design guide (VP2/October 1987), ICI Advanced Materials, 1987.

24. 3. 2 粘合剂粘接

威格斯：威格斯聚醚酮

许多粘合剂都可以对威格斯聚醚酮进行粘接，无论是与其本身还是与其他的材料。粘接强度很大程度上取决于粘接之前的表面处理工作。

表面处理：准备进行粘合的表面必须是清洁的、干燥的且无油脂。三氯己烷（1，1，1-三氯乙烷）或者是类似的脱脂溶剂可以对表面进行脱脂。更多积极性的表面活化措施，如表面粗加工、火焰处理、等离子体刻蚀（特别是氩气）或者铬酸蚀刻都可能有助于粘合强度的提高。使用通用的 Araldite 100 环氧树脂粘合剂，经过火焰氧化后其粘接强度可以增加20%，而铬酸蚀刻可以比脱脂表面的粘合强度高出大约 30%。

粘合剂类型：环氧树脂、丙烯酸酯、厌氧粘合剂和硅酮胶都可以与威格斯聚醚醚酮进行粘合。然而，环氧树脂粘合剂可以提供迄今为止最强的粘合强度。就所有情况而论，相关的粘合剂制造商应该进行协商以确定正在使用的最佳的焊接技术和最适当的粘合剂。

参考文献

Victrex PEK Properties and Processing, Supplier design guide (VP2/October 1987), ICI Advanced Materials, 1987.

24.4 聚醚酮酮

24.4.1 粘合剂粘接

聚醚酮酮（形状：层压材料；增强材料：石墨纤维）

在这次研究中所采用的样品为不连续的长纤维 AS4/聚醚酮酮复合层板材料。在进行粘接之前，要对表面进行喷砂或电晕放电处理。一种粘合剂的使用要依据波音材料规范 D210-12065（相当于美国氰氨公司 FM-300），并且在温度和压力分别为 177℃（350℉）和 0.59MPa（85psi）的条件下进行固化 2h。

经过对所有这些的粘接接合面的评估后，得到了相对固定的强度。在潮湿的环境中放置 30 天后，这些接合面没有发生严重的强度损失。粘接接合面的疲劳性能显示出粘接面的疲劳极限出现在它们的固定极限强度的 20% ~30% 时。此外，在失效发生之前，其刚度会显著降低。刚度的降低取决于应力水平，越低的应力水平就会引起越大的刚度损失。样品在经过一百万次的疲劳周期后，其强度损失明显。

参考文献

Whitworth HA: Fatigue evaluation of composite bolted and bonded joints. *Journal of Advanced Materials*, 30 (2), p. 25, 1998.

24.4.2 机械连接

聚醚酮酮（形状：层压材料；增强材料：石墨纤维）

在这次研究中所采用的样品为不连续的长纤维 AS4/聚醚酮酮复合层板材料。研究采用两种不同的紧固件：钛紧固件和 IM7/聚醚酮酮石墨复合紧固件。机械连接接头是用准各向同性层板制成的，目的是为了避免由于在单向层压板钻孔而引起的切开问题。

静力与疲劳试验是在两个不同的螺栓紧固水平下进行的。经过观察，虽然紧固对静力强度没有明显的影响，但是却对疲劳性能有着重大的影响。在相同的紧固载荷下，钛紧固件表现出的疲劳性能要稍好于热塑性的紧固件，同时满载荷扭矩的钛紧固件对疲劳性能有显著的改善。在这些层压材料的拉伸疲劳试验过程中可以看出其钻孔明显伸长。

参考文献

Whitworth HA: Fatigue evaluation of composite bolted and bonded joints. *Journal of Advanced Materials*, 30 (2), *p*. 25, 1998.

24.5 聚酮

24.5.1 激光焊接

框架：脂肪族聚酮

激光二极管输出的波长在 800 ~900nm 范围内，且输出功率密度在 5 ~60W/cm 范围内。在聚酮的焊接过程中，材料中存在的任何水分都会产生蒸气压力，这个压力的大小取决于材料的熔化温度。在焊接过程中，如果蒸气压超过了夹具压力，则当此温度保持足够的时间后，就会有气孔产生。因此，在这项研究中发现了一个重要的现象，即一旦周期缩短至 3 ~

4s，则样品的干燥不需要清除气孔。

这项研究的结果显示，在功率密度为40W/cm时，聚醚酮可以采用红外焊接法进行焊接，其焊接强度为母体材料的98%。由于表面热量和功率（40W/cm）的要求，厚度在8mm以上的材料是很难采用红外焊接法（波长在800～900nm）进行焊接的，一只透明的施压脚可能会将热量转移并减少焊纹。

不同等级的脂肪族聚酮可以按照所有可能的组合进行焊接，但是为了获得最大的焊接强度，应该采用相似等级的进行焊接。

参考文献

Grewell DA，Nijenhuis W：TTIR welding of aliphatic polyketone. ANTEC 2000，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Orlando，May 2000.

第 25 章　聚　酰　胺

25.1　尼龙

25.1.1　概述

瑞士远东股份有限公司：Grilon，Grivory

使用 Grilon 和 Grivory 做成的模型零件通过热元件焊接、超声波焊接、红外焊接、激光焊接和振动焊接技术进行焊接后，可以得到优质的焊接接头。采用超声波焊接可以取得最好的效果。振动焊接使非晶态焊接和玻璃纤维增强 Grivory 的焊接成为了可能。

由 Grivory 制造的零件可以用自攻螺钉进行很好的固定。公制螺纹可以直接集成到零部件中。

参考文献

[1] *Grilon: The Traditional Product*, Supplier design guide, EMS-Chemie.

[2] *Grivory G Partially Aromatic Polyamides*, Supplier design guide, EMS-Chemie.

巴斯夫公司：Ultramid（聚酰胺成型化合物）

实际上，所有已开发的热塑性塑料的焊接方法都适用于对 Ultramid 的焊接。采用以下这些方法对其进行成型焊接：超声波焊接、热元件焊接（热封、辐射焊接）、振动（线性、双向）焊接、旋转焊接和激光焊接。目前为使用激光焊接的用户提供了一种高科技产品，即新研发的 Ultramid A3WG6 LT black 23229。

在制剂适当的情况下，热脉冲和高频率焊接更适用于对薄膜进行焊接，但是也可以采用激光焊接、热元件焊接和超声波焊接。

参考文献

The Processing of BASF Polyamides, Supplier design guide, BASF Corporation.

BIP 化学制剂：Beetle（脲醛塑料）

尼龙的焊接可以应用所有焊接热塑性塑料时所采用的常规焊接过程，如摩擦焊接和超声波焊接。在对这些组件进行焊接前应该先进行干燥处理，这是因为过多的水分会使粘合强度下降。

参考文献

Beetle & Jonylon Engineering Thermoplastics, Supplier marketing literature (BJ2/1291/SP/5), BIP Chemicals Limited, 1991.

25.1.2　热工具焊接

尼龙

在最佳的条件下，热工具焊接过程中聚酰胺焊缝的强度可以达到母体材料强度的 58%，并且有 1.9% 的失效应变。

参考文献

Stokes VK: Toward a weld-strength database for hot-tool welding of thermoplastics. ANTEC 2000, Conference

proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

尼龙（形状：无规长玻璃纤维毡片）

在使用无规长玻璃纤维毡片（GMT）对尼龙的增强过程中，纤维对热工具对接焊缝的增强不起作用。采用GMT可以获得最大的焊接强度，相当于无填充材料的优良焊缝的强度。增强材料的热工具焊接的最佳工艺参数与无填充材料的参数是不同的。

参考文献

Gehde M, Giese M, Ehrenstein GW: Welding of thermoplastics reinforced with random glass matt. *Polymer Engineering and Science*, 37 (4), p. 702, April 1997.

25.1.3 超声波焊接

杜邦：Zytel（尼龙）

玻璃纤维增强Zytel尼龙可以采用超声波焊接技术进行焊接；而且有时候比焊接非增强型材料更容易。Zytel 79G、70G系列中的树脂有可能被熔接在一起，由于在熔合处没有玻璃纤维增强物的出现，其焊接强度仅仅相当于非增强型材料的基本焊接强度。鉴于以上原因，如果想要使其焊接强度达到增强树脂的焊接强度，就必须根据壁厚增加接合面积。若采用剪切接头，这是很容易实现的。对于有玻璃纤维增强的Zytel树脂、Zytel79G 13来说，其焊接是最困难的。在玻璃纤维增强物水平为13%时，在焊接角处仍可能发生过度的损坏和喷溅。

与其他大多数塑料相比，尼龙树脂在成型后可以吸收更多空气中的水分。当这些水分从接缝表面释放出来时，会使焊接质量变得很差。为了获得最佳的结果，Zytel零部件应该在其成型后立即进行超声波焊接，或者是在焊接之前把成型件一直存放在干燥的环境中。在温度为23℃（73℉），相对湿度为50%的环境中放置1~2天就足以使焊接质量下降50%或者更多。增加焊件的焊接时间有可能会抵消这些损失，但是通常是以焊接角处的焊接瘤和损坏为沉重代价的。在焊接过程中，焊接角附近的零件温度会接近接头处温度，因此，延长焊接周期有可能会导致严重问题的发生。

当零部件成型后，立即封存入聚乙烯袋中，它们可以保持干燥长达数周的时间。若想封存时间更长，则必须采取更好的保护措施，如使用广口瓶、罐子或者是隔热防潮袋。已经吸收了水分的零部件可以在焊接之前将其放入干燥炉内进行干燥。

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

杜邦：Zytel（尼龙）

当焊接设备处在可以将无色素的零部件进行优质焊接的状态下时，对于有色素的零部件来说，其焊接质量明显降低，反映在焊缝强度低且脆性大上。色素的存在似乎影响着接合处的热生成量。通过延长焊接时间可以弥补焊接质量不足，而其对于有色素的零部件的效果来说要好于无色素的零部件。然而，延长焊接时间同样可能会产生副作用，即在焊接角处形成过多的焊瘤及损坏。在不会明显影响超声波焊接的条件下，使用染料着色系统可能会提供一个替代解决方案。

由色素产生的对于超声波焊接性的不利影响同样存在于复合润滑油或脱模剂焊接材料的内部或表面。在焊接过程中，这些材料中的一小部分会对接合处的热生成量产生不良影响。如果

喷涂脱模剂用在无润滑剂成型材料的成型过程中，这些零部件在焊接前应该进行彻底的清洗。

参考文献

Ultrasonic Welding of Delrin Acetal Resin, Zytel Nylon Resin, Lucite Acrylic Resin, Supplier technical report (171), DuPont Company, 1972.

尼龙

通过对超声波焊接法的焊接强度与焊接力/保持力之间的关系进行研究可以看出，焊接强度一般与焊接力成反比。高焊接力可以使分子高度地取向且形成较弱的焊缝。在较低的焊接力（<455N，即02lbf）下，由于样品发生变形，这种关系就不再适用。在焊接周期中改变焊接力的大小就能够发现，可以同时得到周期时间短和高质量的焊缝。当焊接时间减少28%时，压力成型使得聚酰胺的焊接强度达到最大。对于聚酰胺来说，其强度也有一个显著地增加，从24MPa（3480psi）增加到41MPa（5950psi），提升了71%。焊接区域的显微图像显示，这些增长源于在焊接周期的高压力阶段，在焊接区域内导能块被迫进入零部件底部而产生的增长。

参考文献

Grewell DA: Amplitude and force profiling: studies in ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1996, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Indianapolis, May 1996.

尼龙

超声波焊接是一个非常复杂而且难以控制的过程，尤其是对于半晶聚合物来说。为了提高超声波焊接的可控制性，对两种方法进行了研究——阈值功率控制和闭环功率跟踪。阈值功率控制依赖于能量的突然上升，即在焊接即将结束的时候触发超声波振动的关闭装置。对于预先设置好功率曲线的闭环功率跟踪来说，为了利用已经被试验证明的能够产生良好焊接接头的功率曲线，在实际操作中的振幅是多种多样的。对于聚酰胺来说，生产高质量、低标准偏差的焊接接头时，这两种方法优于能源模式、位移模式和时间模式。

参考文献

He F: Effect of amplitude and pressure control on the strength of ultrasonically welded thermoplastics. ANTEC 1996, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Indianapolis, May 1996.

25.1.4 振动焊接

杜邦：Zytel（尼龙）

振动焊接适用于各种级别的 Zytel 尼龙树脂。如果零部件存放在相对湿度不高于 50% 的地方，那么在焊接前就不必对零件采取吸水措施。对于未增强的聚酰胺来说，部件对接接头部分的强度要强于零部件本身的强度。填料和玻璃纤维对接头强度的减弱作用取决于它们的数量多少，30% 的玻璃纤维就会造成强度下降多达 50%。拥有这种树脂的零部件必须进行非常仔细的设计。

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

尼龙（形状：无规长玻璃纤维毡片）

使用无规长玻璃纤维毡片（GMT）对尼龙进行增强，对于加强振动焊接的对接接头强度

来说，纤维是不起作用的。使用亚光玻璃纤维的最大焊接强度相当于未填充材料优良焊缝的强度。高焊接压力和高振幅会导致力学性能很差。最好的渗透性取决于松散材料中纤维的含量。这种渗透依赖性不同于未填充热塑性塑料，一旦形成稳定状态，力学性能就与渗透性无关了。

参考文献

Gehde M, Giese M, Ehrenstein GW: Welding of thermoplastics reinforced with random glass matt. *Polymer Engineering and Science*, 37 (4), p. 702, April 1997.

尼龙

聚酰胺模制品的力学性能在很大程度上是由材料的含水量决定的。在振动焊接过程中，在连接区域内气泡形成的现象很明显。在开发还是避免这些气泡，以及它们对焊接强度的影响这些问题上存在着许多不同的意见。

关于吸湿性聚酰胺的焊接，本研究得出以下结论：

1）高压焊接可以阻止水蒸气气泡在焊缝处的形成。

2）在焊接缺陷中，气泡的形成不可能被完全消除。即使在被焊接的零部件中只含有很少的残余水分，当热熔性物质流入焊接缺陷中时会导致压力下降，以致形成水蒸气。

3）通过对材料的预干燥不能提高焊接强度，因为焊接强度在数值上已经达到基底材料的强度。但是，刚性较大的模制品，需要较低的能量来熔化预干燥的模制品或新成型的模制品，的确能降低焊接所需时间，导致焊接缺陷中含有的气泡减少。

参考文献

Potente H, Uebbing M: The effects of moisture on the vibration welding of polyamide. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

杜邦：Zytel（材料组成：30%的玻璃纤维增强）

这项研究对尼龙66和尼龙6在振动焊接时进行了比较。未焊接时，尼龙66的拉伸强度比尼龙6高（在潮湿情况下进行测试的结果为65MPa对50MPa（9430psi对7250psi））。尼龙66的最高使用温度依然高于尼龙6（通常为241℃（466℉）对199℃（390℉））。在温度不断上升且不顾及材料条件、取向和位移的测试条件下，经过振动焊接的尼龙66的焊接强度要高于尼龙6。

与材料在干燥的情况下相比，在温度为23℃（73℉），相对湿度为50%的条件下焊接尼龙6和尼龙66，会使其焊接强度明显下降。在一般条件下进行焊接，尼龙66得到的焊接强度要比尼龙6高出多达10MPa（1450psi）。

在23℃（73℉）温度条件下进行测试，沿轴向进行焊接的焊缝的焊接强度要比沿横向焊接的焊缝强度高出多达20%。在120℃（248℉），干燥的条件下形成的焊缝不受材料振动方向的影响。在两个方向上，尼龙66的焊接强度都高于尼龙6。

提高测试的温度会降低尼龙6和尼龙66的焊接强度。在120℃（248℉）时，尼龙66的焊接强度比尼龙6高出28%。

为了得到最佳的焊接时间，在焊接周期中，焊接材料的位移必须限制在很小的范围且不能影响焊接质量。通过延长焊接时间来增加1mm（0.039in）以上的材料位移并不能增加焊接强度，反而会产生过多的飞边。

提高焊接压力，会让尼龙6和尼龙66得到较低的失效强度。在高焊接压力下，材料的最终应力将会升高，造成结合处拉伸强度下降。在较低的焊接压力下情况正好相反，但是较

低的焊接压力会导致焊接时间的延长。这一点通过设备制造商引进允许按压力曲线控制的焊接机器而得到了弥补。

参考文献

Froment ID: Vibration welding nylon 6 and nylon 66—a comparative study. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

25.1.5 旋转焊接

杜邦：Zytel（尼龙）

作为第一近似值，对 Zytel 的焊接的线速度应该为 3 ~ 5m/s（120 ~ 200in/s）。必须对压力进行调整，直到在 2 ~ 3s 的焊接时间内可以达到预期的效果为止。

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

25.1.6 激光焊接

尼龙（增强材料：30% 玻璃纤维）

这项工作回顾了采用三维焊接线的箱形几何体的焊接试验结果。激光光源是一个可以发出波长为 940nm 的激光的二极管激光器。激光束的聚焦尺寸在 1.5mm × 1.5mm（0.06in × 0.06in）以下。激光头固定在一个 6 轴机器人的延伸臂上。采用标准的试验设计完成对焊接过程的分析。研究涉及到的参数有激光功率、激光速度和焊接压力。较低的吸收层包含质量分数小于 25% 的炭黑。

激光速度范围为 50 ~ 100mm/s 不等，焊缝长度大约在 240mm（9.5in）的时候，其焊接时间很可能在 2.4 ~ 4.8s 范围。与热工具焊接相比，这是一个相对较短的周期时间。在一个相对较大的能量密度范围内（0.7 ~ 1.4J/mm^2），可以形成密封焊接。

参考文献

Haberstroh E, Luetzeler R: 3-D laser transmission welding. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

巴斯夫公司：Ultramid（聚酰胺成型化合物）

适合于激光焊接的 Ultramid 材料见表 25.1。

表 25.1 适用于激光焊接的 Ultramid 产品组合

发射组件	吸收组件
A3K	A3K sw 464
A3W	A3W sw 464
A3WG6	A3WG6 sw LS 23189
B3WG6	B3WG6 sw 564
B3WG6	B3EG6 sw LS 23189
T KR4350	T KR4355G5 sw 564
T KR4355G5	T KR4355G5 sw 564
A3WG6 LT sw①	A3WG6 sw LS 23189
B3WG6 LT sw①	B3EG6 sw LS 23189

① 黑色发射组件。

参考文献

Transmission Laser-Welding of Thermoplastics, Technical Information (WIS 0003 e 01. 2001), BASF Aktiengesellschaft, 2001.

25.1.7 溶剂焊接

瑞士远东股份有限公司：Grilon（格里隆聚己内酰胺纤维）

Grilon 突出的耐化学腐蚀性使其成为很难被粘接的材料。

基于苯酚（间苯二酚、甲酚）的溶剂特别适合对 Grilon 进行粘接。

参考文献

Grilon: The Traditional Product, Supplier design guide, EMS-Chemie.

巴斯夫公司：Ultramid

以苯酚和间苯二酚为基础的溶剂适合对 Ultramid 进行粘合。

参考文献

Ultramid Nylon Resins Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 568/1e/4. 91), BASF Corporation, 1991.

杜邦：Zytel

有时候，溶剂焊接用来将 Zytel 尼龙树脂与同种材料或与异种材料（如木材、金属或其他塑料）进行连接。这个过程特别适用于对大型的或复杂形状的材料进行连接。这种方法最适合于小批量生产或者是用于检查的样品，因为长时间、耗体力的粘接过程不能够很容易地或经济地形成自动化。

不考虑特殊溶剂的使用，以下简要信息适用于 Zytel 尼龙溶剂焊接装配技术。

1）搭接接头或者是榫槽接头可以形成比对接接头更强的粘接。被粘合的表面之间需要很好地接触在一起。一般来说，表面积越大，形成的粘合就越强。

2）在弯曲的零件中，接口的平面应该垂直于作用力的方向。例如，一个受垂直载荷的梁应该使用焊接表面为水平面的搭接接头进行装配。

3）为了防止在粘接后出现表面脱位的现象，有必要使用二次固定装置。

在尼龙与尼龙进行连接时，强烈推荐使用三种溶剂。使用苯酚水溶剂、间苯二酚—乙醇溶剂和尼龙体氯化钙—乙醇溶剂粘合剂所形成的接缝的特点是不易脆化、坚硬且快速固化。

苯酚水溶液：含有 10% ~15% 水分的苯酚水溶液是最常用的混合粘接溶剂，用于粘接 Zytel 尼龙树脂本身。可以从化学品供应处购买到这种含有 10% ~15% 水分的“液化”形态溶剂，但是在使用时必须谨慎小心。使用这种溶剂得到的粘合接口是防水的、柔韧的且具有高的强度。

使用说明：

1）彻底清洁和干燥配合表面。

2）如果零部件配合完好，则立即进行装配。如果在分界面的配合不好或者不够严密，则装配前应该在涂抹苯酚水溶液后等 2 ~3min。这可以软化表面且有助于得到令人满意的配合效果。在有苯酚水溶液浸渍配合表面时，使其进行充分接触是非常重要的。如果在匹配过程中配合表面出现分离或脱位，即使表面仍然是粘而未干的，也要涂抹更多的苯酚水溶液。

3）将配合表面均匀地夹紧在一起，压力大约为 0.07MPa（10psi）。在这个过程中可以

采用更大的压力，但是其效果的提升是极其微小的。

4）在表面夹在一起后（可使用弹簧夹），将连接处浸在沸水中。在沸水中进行固化5min对于厚度为3.2mm（0.125in）的零部件来说足以形成永久的粘合，对较厚的部分其时间应该适当延长。当然，时间的长短取决于部件的厚度。建议：当接头从水中取出来时，其应该已经被煮得几乎检测不到苯酚的味道了。

5）对于许多零部件来说，已经研发的在室温下进行空气固化的方法是很令人满意的，但是处理需要的时间会有所延长。如果两个被粘合的零部件能够扣在一起或者有紧密的扭矩和槽式结合，就没有必要采用夹具了，这是很明确的。为了达到最大的粘合强度，这需要几天的时间，因此至少需要4天后接头才能达到比较高的强度。如果需要快速固化，可以将零部件放在温度为66℃（150℉）的烘箱中进行30min的固化处理。

警告：无论是苯酚还是间苯二酚都必须小心处理。苯酚具有挥发性，存在呼吸危害性。在职业安全与卫生条例29 CFR 1910.1000中规定，苯酚在空气中8h内的加权平均暴露限值为$5\times10^{-4}\%$（5ppm）。间苯二酚的挥发性比苯酚小，但是必须提供足够的通风设备以避免吸入水蒸气。为了防止接触到皮肤上，操作者应该带上护目镜和防水的手套，并且应该注意防止其喷洒到皮肤或衣服上。间苯二酚的机能与苯酚很相像，可以采取类似的预防措施，不过其挥发性较小且在皮肤上的反应也较慢。苯酚和间苯二酚一旦接触到皮肤，就必须迅速完全地用大量清水清洗。在大量接触的情况下，应该采取医疗措施。无论是苯酚还是间苯二酚都不应该对最终用途涉及食品的部件应用。对这样用途的部件使用尼龙体氯化钙—乙醇。

间苯二酚—乙醇：作为溶剂的间苯二酚—乙醇溶液，其最吸引人的特性是它使用的方便性。间苯二酚是非常容易溶于乙醇的，作为溶剂的溶液可以由同等重量的间苯二酚（技术或USP等级）和乙醇（95%或商用无水的普通酒精）混合而成，并在室温下搅动或摇动15～20min。50－50的溶液很方便制备，且在使用中能够提供乙醇挥发的余地。浓度并不是很重要。

使用说明：

1）彻底清洁和干燥配合表面。

2）使用普通的扁漆刷将两个结合面涂抹上溶剂。这种溶剂的粘度很低，在结合面上反复刷两到三次后可以防止溶剂从表面流失。

3）20～30s后，两个配合表面被充分软化，使其不会在紧密配合时被擦拭干。对溶剂的一般应用和等候时间是必要的，这样可以确保其牢固且紧密连接。延长等候时间（增加至3min）会全面提升接头强度。

4）在软化期后，将配合表面压在一起并且用较小的压力将其夹10～15min，在这个时间段内，适合对接头强度进行轻微处理。大约在90min后，结合处达到可使用的强度，而在24h后可达到最高强度。对于苯酚水溶液来说，在温度为66℃（150℉）的旋转式烘箱中加热30min，可以提高其固化速度。

尼龙体氯化钙—乙醇：这种溶剂粘合剂可以应用在涉及食品和饮用水供应的设备中。这种粘固剂既没有腐蚀性，也没有毒性，而且也没有异味，同样也没有烧伤皮肤的危险。这种粘合剂的推荐配方为10%的Zytel 101 NC-10，22.5%的氯化钙和67.5%的乙醇。将22.5%的氯化钙（分析纯试剂级）添加到67.5%的乙醇（95%或商用无水酒精）中，并摇动2h，直到氯化钙全部溶解。通过玻璃过滤漏斗过滤浑浊的溶液。加入10%的Zytel 101 NC-10，穿过10#筛网并搅拌一夜的时间。这样得到的溶液是清澈的、蜂蜜状的溶剂粘合剂，而且可长

期保质。

使用说明：

1）使用刷子或棉卷在连接表面涂抹上粘合剂。

2）大约30s后，装配零部件且保持在接触压力下。

3）30min后，接头能够进行轻微的处理，但是要在24h后才能达到满粘接强度。

注意：这种溶剂粘合剂不具有危险性且不用采取特殊的防止皮肤烧伤的预防措施。因其无毒性，特别适用于尼龙树脂的粘合。

参考文献

Design Handbook for DuPont Engineering Plastics—Module II, Supplier design guide (E-42267), DuPont Engineering Polymers.

25.1.8 粘合剂粘接

尼龙

尼龙的粘接可以采用厌氧性的、紫外的、环氧型的聚丙烯结构粘合剂。这种材料在粘接之前应该在60℃（140℉）的温度下进行几小时的干燥处理。表面应该进行刮磨。未填充树脂的粘合是很困难的。

参考文献

The Engineers Guide to Adhesives, Supplier design guide, Permabond Engineering Adhesives.

瑞士远东股份有限公司：Grilon（格里隆聚己内酰胺纤维），**Grivory**（尼龙）

Grilon和Grivory突出的耐化学腐蚀性使它们成为很难被粘接的材料。

氰基丙烯酸盐和异丁烯酸单组分粘合剂特别适合用于Grilon和Grivory对金属的粘接。聚亚胺酯和环氧树脂双组分粘合剂也可以用于Grilon和Grivory的粘接。对粘接区域进行活化预处理可以显著提高焊缝的质量。预处理手段如下：

脱脂：使用有机溶剂，例如丙酮。

机械清除：刷光、研磨或喷砂处理。

电化学：电晕放电或低压等离子体。

热：火焰处理。

化学：用腐蚀性物质处理。

参考文献

[1] *Grilon: The Traditional Product*, Supplier design guide, EMS-Chemie.

[2] *Grivory G Partially Aromatic Polyamides*, Supplier design guide, EMS-Chemie.

凯迪拉克塑料化工有限公司：Cadco（制造方法：铸造）

不粘的和/或耐溶剂性质的Cadco铸造尼龙需要在进行粘接前对零件表面进行特殊的处理。表面可以和基底或其他材料（如木材、钢铁和铝）进行粘合。

可以使用中等粒度的砂布对Cadco铸造尼龙进行粗糙处理，但是在粗化的前后都需要进行清洗。推荐使用甲基乙基（甲）酮进行清洗。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide (CP-200-92), Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

BIP 化学制剂：Beetle（脲醛塑料）

Beetle 和 Jonylon 尼龙组件可以使用市售的粘合剂，如环氧树脂、聚亚胺酯、硅酮和氰基丙烯酸盐粘合剂对其自身进行粘合，或是和其他塑料或金属进行粘合。

参考文献

Beetle & Jonylon Engineering Thermoplastics, Supplier marketing literature (BJ2/1291/SP/5), BIP Chemicals Limited, 1991.

杜邦：Zytel

多种热固性的粘合剂可以用在 Zytel 尼龙树脂与金属的粘合中（见表 25.2）。

表 25.2 用于 Zytel 尼龙树脂与各种基底进行粘接的粘合剂

粘合剂	供应商
环氧树脂类粘合剂 7004 （尼龙与木材、金属和皮革）	H. B. Fuller 公司，1200 柳树湖大道；保罗街，明尼苏达 55164；美国
环氧树脂类粘合剂 7006 （尼龙与金属和乙烯基塑料）	
Apco 5363	应用塑料有限公司；7320 南 6#大街；奥克里克，WI 53154—2093；美国

参考文献

Design Handbook for DuPont Engineering Plastics—Module II, Supplier design guide (E-42267), DuPont Engineering Polymers.

25.1.9 机械连接

杜邦：Zytel（尼龙），**Minlon**

铆接加工：当对未改性的 Zytel 尼龙进行铆接时，在进行铆接前最好让零部件保持在平衡含水量的条件下，因为材料在干燥的状态下是很脆的。冲击改良的材料可以在刚刚出模般干燥的状态下进行铆接，如 Zytel ST 和 Zytel 408 尼龙树脂。

自攻螺钉：Zytel 尼龙树脂可以与螺纹成型螺纹很好地配合在一起。除非需要进行反复拆卸，否则螺纹切削螺纹仍然是首选。

加入 13% 的玻璃纤维进行增强 Zytel 尼龙树脂材料和 Minlon 矿物质增强材料可以与螺纹切削螺纹很好地拴牢在一起。对于这些更加坚固的材料来说，螺纹切削螺纹会提供高螺纹啮合、高夹紧载荷、在嵌入后不会产生导致产品失效的高残余应力。

对于加入 33% 和 43% 的玻璃纤维进行增强的 Zytel 尼龙树脂来说，推荐使用较细螺纹的 T 形螺钉。即使是细牙螺钉，取出螺钉后也使塑料上大量的螺纹受到剪切，这样就不能再使用同样尺寸的螺钉了。在这组材料中，如果机械固件需要拆卸或更换，推荐使用金属嵌件，或者使螺毂直径足够大以至于可以容纳下一个更大直径的螺钉。

表 25.3 和 25.4 给出了各种尺寸的 AB 型螺钉的拉脱强度、剥离力矩以及尺寸。

表 25.3 在 Zytel 和 Minlon 聚酰胺中的不同尺寸的螺钉的拉脱载荷情况

	螺钉编号	6	7	8	10	12	14
	D_s/mm	3.6	4.0	4.3	4.9	5.6	6.5
	d_s/mm	2.6	2.9	3.1	3.4	4.1	4.7
	D_h/mm	8.9	10.0	10.8	12.2	14.0	16.2
	d_h/mm	2.9	3.3	3.5	4.1	4.7	5.5

（续）

拉脱力	Zytel 101L NC010	N	2250	3250	3850	4300	5100	6400
	Zytel 79G 13L	N	2200	3100	3400	3700	4400	5900
	Zytel 70G30HSL	N	2300	3200	3500	3900	4850	6200
	Minlon 10B140	N	3200	3330	5370	5690	8710	10220
	Minlon 11C140	N	2880	3200	3540	4510	5070	6480

注：D_s为螺纹大径；d_s为螺纹中径；D_h为螺毂外径；d_h为螺毂孔径。

表 25.4 在 Zytel 和 Minlon 聚酰胺中的不同尺寸的螺钉的剥离力矩情况

		螺钉编号	6	7	8	10	12	14
		D_s/mm	3.6	4.0	4.3	4.9	5.6	6.5
		d_s/mm	2.6	2.9	3.1	3.4	4.1	4.7
		D_h/mm	8.9	10.0	10.8	12.2	14.0	16.2
		d_h/mm	2.9	3.3	3.5	4.1	4.7	5.5
剥离力矩	Zytel 101L NC010	Nm	1.6	2.5	3.6	5.0	7.0	10.0
	Zytel 79G 13L	Nm	2.0	3.0	4.0	5.3	6.9	8.5
	Zytel 70G30HSL	Nm	2.5	3.5	4.8	6.3	8.0	10.0
	Minlon 10B140	Nm	2.4	3.5	4.8	6.4	10.0	13.8
	Minlon 11C140	Nm	2.5	3.0	4.3	6.0	7.3	11.3

注：D_s为螺纹大径；d_s为螺纹中径；D_h为螺毂外径；d_h为螺毂孔径。

卡扣连接：对凸耳式卡扣连接的可允许拉力的推荐值见表 25.5。

表 25.5 Zytel 聚酰胺的凸耳型卡扣连接的建议许用应变

材料	许用应变（%）	
	仅使用一次（新材料）	频繁使用
Zytel 101，干燥	4	2
Zytel 101，相对湿度 50%	6	3
Zytel GR，干燥	0.8～1.2	0.5～0.7
Zytel GR，相对湿度 50%	1.5～2.0	1.0

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

杜邦：Zytel

在车用发动机中应用的卡扣连接单元包括一个热动式延迟阀和一个废气再循环（EGR）延迟阀，用来减少一氧化二氮的排放。它们有一个卡扣连接外壳，这个外壳可以承受机罩下的温度且有助于装配。当施加压力时，该模制品仅仅是卡扣连接在一起。

参考文献

Dupont Glass-Reinforced Zytel Nylon Resin, Supplier Technical Report (E-22693), DuPont, 1993.

BIP 化学制剂：Beetle（脲醛塑料）

Beetle 和 Jonylon 尼龙的韧性允许它们使用自攻螺钉、螺栓和铆钉对成型件进行连接，组件设计还包括卡扣连接和压合连接的设计。

参考文献

Beetle & Jonylon Engineering Thermoplastics, Supplier Marketing Literature (BJ2/1291/SP/5), BIP Chemicals Limited, 1991.

巴斯夫公司：Ultramid

由 Ultramid 制成的零部件可以很容易地用自己形成螺纹的螺钉（自攻螺钉）进行连接。Ultramid 零部件可以毫不费力地彼此连接起来，或者依靠铆钉和螺栓与采用其他材料制成的零部件进行连接。事实证明，带螺纹的金属嵌件对承受高应力或是需要频繁进行松紧的部件的螺钉连接是很有好处的。这些在成型过程中会被封装或者是依靠超声波或热嵌入连接到预先准备好的孔中。卡扣连接与压合连接均可以承受高应力。即使在高温情况下，Ultramid 突出的弹性和强度对这种形式的结构也特别有利。

参考文献

The Processing of BASF Polyamides, Supplier design guide, BASF Corporation.

25.2 尼龙6

25.2.1 热工具焊接

拜耳公司：Durethan（杜力顿）

对于 Durethan PA6 来说，其推荐使用的热板焊接的参数如下：

热板温度：280 ~ 450℃（536 ~ 842℉）。

连接压力：0.1 ~ 1.0N/mm^2（15 ~ 145psi）。

Durethan KU2-2140/30 已经为热板焊接进行了特殊的开发，它最大的特点就是低水平的熔融粘合和一个更大的焊接处理参数范围，这是通过提高熔融粘度来实现的。

参考文献

Hot Plate Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

拜耳公司：尼龙6（增强材料：玻璃纤维）

原则上，聚酰胺应用热工具技术是可焊的。应用某些改进形式和适当的机械参数可以达到很高的焊接强度。对两种尼龙材料（改良的拜耳 KY 2 2140/30 和 BKV 30）的研究表明它们非常适合系列生产，这是因为，尽管焊接参数变化很多，但是其获得的结果几乎是常数，其强度只在一个相对小的范围内波动。当聚酰胺材料仅仅是与改良材料（焊接区域高粘性）进行连接和采用创新的机械技术（很高的加速度和滑动装置的快速移动）时，才会得到这些优良的焊接结果。依据材料而定的是，仍然需要经常对加热工具进行或多或少的清洁。

参考文献

Haberstroh E, Schulz J: Heated-tool butt welding of polyamide. *Welding and Cutting*, 1, p. 10, 2002.

尼龙6（增强材料：玻璃纤维）

使用的焊接参数如下：

热板的最高温度：380℃（716℉）。

最大预熔夹紧力：3.0kN（670lbf）。

最长预熔和熔化时间：30s。

熔化深度：0.5 ~ 5.0mm（0.02 ~ 0.2in）。

最大持续/密封时间：15s。

使用0%～45%（质量分数）的玻璃纤维增强进行了试验。

利用显微镜进行形态研究得到了原材料中和接口处玻璃纤维的分布和走向。在最佳的热板焊接条件下，发现部分玻璃纤维对于焊接平面来说是垂直方向的或至少成一定角度，且它们也穿过接合面。当材料中含有14%～24%（质量分数）的玻璃增强纤维时，焊缝可达到最大的拉伸强度。

参考文献

Kagan VA：Joining of nylon based plastic components — vibration and hot plate welding technologies. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

尼龙6（增强材料：30%玻璃纤维）

对于填充玻璃纤维聚酰胺的热工具焊接来说，即使对工艺参数进行了优化或对热工具表面和连接表面进行了改良，特定材料的限制值也不可能超过可获得的最大焊接强度。随着对聚酰胺的研究，这个限制值相当于未焊接的参考样品的特定材料屈服应力的50%。在连接中必要的流动过程使得焊缝中的玻璃纤维的取向为横向。

对最佳工艺过程的描述表明，对于聚酰胺的热工具焊接来说，不可能指定工艺过程遵从任何标准。参数的优化依靠试验研究，因此必须适用于每一种材料和每一种用途。

就目前的前提来说，使热工具上完全避免熔渣是不可能的。因此，应该按照污染程度对热工具进行清洗。在涂层不允许被使用很高的热工具温度时，未增强塑料由于熔渣的蒸发作用使其产生自我清洁效果。

关于工艺条件部分，推荐含水量的质量分数在0.5%以下，不同的材料类型甚至可以更低。因此，聚酰胺制成的连接零件应该在其生产好后尽快进行焊接，对于长存储周期的零件来说，应该存放在密封的环境中或是进行干燥处理。

参考文献

Potente H, Brüβel A：Investigations into the heated-tool welding of polyamide. *Schweissen und Schneiden*, 51 (4), p. 195, April 1999.

尼龙6（增强材料：玻璃纤维）

研究结果表明，尽管工艺条件是多种变化的，但是有一种特定材料的限制值不可能超过填充和增强材料可获得的最大焊接强度。

对玻璃纤维增强的聚酰胺6的研究结果表明，可达到的焊接强度$\sigma_{schw(\phi)}$与以下参数有关：

玻璃纤维含量ϕ；未增强参考样品的屈服应力$\sigma_{GM(\phi=0)}$；基体材料的焊接强度$\sigma_{schw(\phi=0)}$；玻璃纤维增强的参考样品的屈服应力$\sigma_{GM(\phi=0)}$；

参考文献

Potente H, Brüβel A：Welding behaviour of filled and reinforced thermoplastics with hot plate welding. ANTEC 1998, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Atlanta, May 1998.

25.2.2 超声波焊接

拜耳公司：Durethan（杜力顿）

建议使用频率为20kHz，振幅为30～50μm的条件对Durethan聚酰胺6进行超声波

焊接。

参考文献

Ultrasonic Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

尼龙 6

这项工作描述了利用中心合成设计对尼龙的超声波焊接进行检查的过程。在焊接之前，所有的样品都要在 90℃（194℉）的真空电炉中干燥 24h。

结果表明，为了在设计试验范围内生产出最牢固的焊缝，在焊接压力最小（249N，即 56lbf）的同时，其焊接时间和冷却时间应该最大化（分别为 1s 和 1.2s）。焊接半晶质的材料时应采用高振幅，因此，使用最小的焊接压力来防止应力被锁在接头内，并且防止机器在超声波焊接启动阶段就停运的情况发生就显得尤为重要。

参考文献

Froment ID, Taylor NS: Central composite design — an aid to weld optimisation. Joining Applications in Electronics and Medical Devices, ICAWT '98, Conference proceedings, Columbus, September/October 1998.

尼龙（特征：厚度为 5.8mm（0.23in））

经过超声波焊接的尼龙 6 可以产生牢固且整齐的焊缝。

参考文献

Ultrasonic Sealing and Slitting of Synthetic Fabrics, Supplier Technical Report, Sonic & Materials, Inc.

25.2.3 振动焊接

尼龙 6（形状：3mm（0.12in）厚的饰板；填料：纳米粘土）

本项研究评估了含有纳米粘土质量分数分别为 0%、5% 和 8% 的尼龙 6 纳米复合材料振动焊接的焊接性。从三个因素（焊接压力、焊接振幅和熔深）和两个层次的试验设计（DOC）对这些材料的焊接性进行了评估。在焊接之前，要将尼龙纳米复合材料饰板放在 25℃（77℉）的真空炉中干燥 72h。该饰板的尺寸为 150mm×100mm×3mm（5.9in×3.9in×0.12in）。振动频率稳定在接近 210Hz 且冷却压力的大小与焊接压力相同。熔深值在 0.75～1.5mm（0.03～0.06in）范围，压力在 1～2MPa（145～290psi）范围。振幅的峰-峰值调整范围为 1.25～1.75mm（0.05～0.07in）。

结果显示，相比于质量分数为 0% 的纳米复合材料的焊接强度，含有质量分数为 5% 和 8% 的纳米复合材料的焊接强度分别减少了 13% 和 19%，这些强度的降低远远小于已研究的聚丙烯基纳米复合材料。这可能是因为原位聚合过程产生了更为一致的剥落物。

参考文献

Wu CY, DeWerth J: Vibration welding of nylon 6 nanocomposites. ANTEC 2006, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Charlotte, May 2006.

杜邦：Zytel 73G30 HSL（形状：厚度为 6mm（0.24in）的注射成型饰板；增强材料：30% 玻璃纤维）

样品的焊接需要像模塑一样进行干燥。所有的样品都在 100mm×6mm（3.9in×0.24in）的焊接区域内进行对接焊接，振动频率为 210Hz。所有样品都将使用两个等级的焊接压力（0.6MPa 和 5MPa）和两个等级的焊接振幅（1.00mm 和 1.78mm，即 0.039in 和 0.07in），熔深 2mm。

在振动焊接过程中，冷却时期之前，纤维再取向受到在 X 轴方向上的流动挤压和在 Z 轴方向上的流动剪切的影响。然而，当振动结束时，最终纤维再取向是由在冷却期间发生的流动挤压所决定的。由此看来，在冷却期间，压力使纤维在流动挤压方向和拉伸方向两个方向上再取向是由于 Z 方向上分子取向的松弛，即振动过程中的流动剪切引起的。在振动方向上，低振幅对于分子和纤维的取向作用要小于高振幅。这将有助于高焊接压力再取向纤维的朝向为挤压和拉伸方向，从而提高焊接强度。

较厚的热影响区不一定在整体上产生更多的无规取向，但是由于厚度因素，它包含了更多的纤维。在低振幅时，高压焊接在拉伸方向上纤维的再取向过程中起着重要的作用。

参考文献

Chung YM, Gómez R, Kamal MR: Three dimensional fiber orientation in vibration welded joints of glass fiber reinforced polyamide-6. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

杜邦：尼龙 6（形状：厚度为 3.1mm（0.122in）的注射成型饰板）

对未增强的尼龙 6 和尼龙 66 进行了焊接试验。有三种几何形状的研究：对接焊缝，尼龙 6 网状的低熔合 T 形焊缝和尼龙 6 凸缘的 T 形焊缝。焊接工作在标称频率为 211Hz 且峰-峰振幅为 1.78mm（0.07in）的条件下进行。

在各种不同的条件下进行评估得出，未增强的尼龙 6/尼龙 66 的对接和 T 形焊接强度随着焊接压力的降低和焊透深度的增加而增加。在低压和高熔深的最佳条件下，对接焊缝的强度可以达到尼龙拉伸强度的 70% ~80%。

对于低熔合的尼龙 6 网状材料来说，T 形焊缝可以获得更高的强度。当将低熔合材料从凸缘状换到网状时，其最大强度可以提高将近 50%。

通过对断裂面的分析得出，强度较高的焊缝的特点在于两种聚合物之间形成了一种高等级的机械联锁。DSC 分析表明，这些联锁是由两种聚合物在接合处的熔合形成的。

参考文献

Dyck C, Osti M, Bates PJ: Strength of vibration welds made from dissimilar nylons. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

霍尼韦尔国际公司：Capron 8233G HS（形状：注射成型饰板；增强材料：33% 的短玻璃纤维）

在经过优化的焊接条件下，直对接接头的拉伸强度等于或高于原料聚合物（母体材料）的拉伸强度。当焊接形状和玻璃纤维再取向都经过优化后，T 形对接接头可以得到与直对接接头相等的力学性能。

参考文献

Kagan VA, Roth C: The effects of weld geometry and glass-fiber orientation on the mechanical performance of joints — Part 1: weld design issues. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

杜邦 Zytel 73G30（增强材料：30% 玻璃纤维）

对两种焊接形状进行了研究——T 形焊缝和焊接到一个平面饰板上的称作焊帽固定（WCF）的圆柱形焊缝。T 形焊接所使用的材料为尼龙 6、尼龙 66 和聚邻苯二甲酰胺（PPA），全部是玻璃纤维增强的。WCF 焊缝使用的材料为尼龙 6 和尼龙 66（全部是玻璃纤

维增强的）。

T形焊缝的焊接参数如下：

频率：230Hz（大约）。

焊接压力：2.2MPa（319psi）。

振幅：1.8mm（0.070in）。

焊接时间：3s。

持续时间：3s。

WCF 的焊接参数如下：

频率：232.6Hz。

焊接压力：1.4MPa 和 4.1MPa（203psi 和 595psi）。

振幅：1.8mm（0.070in）。

焊接时间：2～9s。

持续压力：1.4 和 4.1MPa（203 和 595psi）。

持续时间：8s。

焊接深度：1.14mm（0.045in）。

所有的试验研究表明，当材料的熔融温度不同时，在较低的熔融温度下，焊接深度主要是通过材料熔融和随后的腐蚀达到的。虽然实际值不同，但是T形焊缝数据和 WCF 焊缝数据有类似的趋势。例如，当熔融温度相同或相似时，一般都会得到最佳焊缝，且当熔融温度差异很大时会得到较差的焊缝。

对于包含长玻璃纤维材料的各种焊缝来说，尽管各种材料在焊接时的熔融温度（15～72℃，即27～130℉）不同，但是其焊接强度几乎相同。

这些数据表明使用尼龙6、尼龙66和聚邻苯二甲酰胺可以得到优良的焊接。

参考文献

LeBlanc V, Baylis B, Qi L, Watt D: Vibration welding of dissimilar nylons. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

联合信号公司：卡普纶 8233（形状：注射成型饰板；增强材料：25%短玻璃纤维）

这项工作对各种热塑性塑料的轨道焊接和线性振动焊接的焊接质量的不同进行了比较。不同的控制参数如下：

振幅：0.76～1.8mm（0.03～0.07in）峰-峰值。

夹紧压力：1.0～6.9MPa（145～1000psi）。

压扁：0.76～1.8mm（0.03～0.07in）。

结果表明，轨道焊接和线性焊接的最大焊接强度的差别不大。因此，在不损失最大焊接强度的同时，轨道焊接可以减少30%或者更多的周期时间。

对给定的夹紧力设置，采取轨道运动可以使得振幅降低5%，且得到的焊接强度与直线运动的相同。在焊接中降低最低振幅的优势在于，其拥有焊接较高的无支撑壁的能力和为大型零部件设计更大规模的工具而不使焊机过载的能力。

参考文献

Grewell DA, Benatar A: An application comparison of orbital and linear vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

尼龙 6（增强材料：玻璃纤维）

线性振动焊接所用参数如下：

焊接振幅：1.02～1.80mm（0.04～0.07in）。

熔深：0.5～5.0mm（0.02～0.2in）。

焊接频率：210Hz。

保持/冷却时间：2～10s。

最大夹紧力：3.6kN（810lbf）。

驱动压板夹具重量：2kg（4.4lb）。

轨道振动焊接所用参数如下：

焊接振幅：0.25～1.50mm（0.01～0.06in）。

熔深：0.5～2.0mm（0.02～0.08in）。

焊接频率：190Hz。

保持/冷却时间：2～10s。

最大夹紧力：0.5kN（110lbf）。

驱动压板夹具重量：2kg（4.4lb）。

使用0%～50%（质量分数）的玻璃纤维增强材料进行试验。

通过显微镜对形态的研究揭示了玻璃纤维在原材料和接口处的分布和取向。在优化过的振动焊接条件下，部分玻璃纤维的取向垂直于焊接平面，或至少形成一定的角度，并且穿过接口。

对线性振动和轨道振动连接技术的比较研究显示，轨道振动焊接对尼龙是非常有效的，且可以成为焊接小组件时采用的线性振动焊接和超声波焊接的替代方法。

对线性振动焊接，在材料中加入14%～24%（质量分数）的玻璃纤维进行增强可以使焊缝达到最大的拉伸强度。

参考文献

Kagan VA: Joining of nylon based plastic components—vibration and hot plate welding technologies. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

联合信号公司：卡普纶（增强材料：玻璃纤维）

对于含有0%～50%玻璃纤维增强的尼龙6来说，试验发现，经过优化焊接条件（最大夹紧载荷为4.5kN（1000lbf），焊接幅度为1.02～1.80mm（0.04～0.07in），焊接时间为4～25s，焊接频率为240Hz）的振动焊接对接接头的拉伸强度在玻璃纤维含量在14%～25%达到顶峰。这种焊接强度（90.2～90.7MPa，即13082～13155psi）比未增强的材料的焊接强度高出10%～17%。对焊接界面的光学和扫描电子显微镜分析得出，较厚的焊接区也在玻璃纤维含量为14%～25%时达到最大值（>300μm，即0.012in）。

经显微镜研究结果显示，经过焊接条件优化的达到最大拉伸强度的样品中，一部分纤维沿着拉伸方向（垂直焊接平面）再取向，甚至穿过界面。据推测，这些焊缝被测量出的高拉伸强度是由于焊接区域厚度增加的结果，这可能会使纤维变得更灵活，以便在拉伸方向进行再取向。

参考文献

Kagan V, Lui S, Smith GR: The optimized performance of linear vibration welded nylon 6 and nylon 66 butt

joints. ANTEC 1996, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Indianapolis, May 1996.

25.2.4 激光焊接

尼龙 6（形状：厚度为3mm（0.118in）的注射成型饰板；特征：热稳定）

激光传送（自然的）和激光吸收（炭黑着色）等级的未填充的和质量分数为33%的玻璃纤维增强尼龙6被用于此项研究中。在焊接、测试或修正之前，它们应该是密封的，以保证水分吸收处于一个目标水平。加工参数如下：

波长：940nm ± 10nm。

功率范围：20 ~ 50W。

激光束特性：光斑（1.5 ~ 2.0mm，即0.059 ~ 0.079in）。

速度：5 ~ 15mm/s（0.2 ~ 0.6in/s）。

夹紧压力：0.5 ~ 1.5MPa（73 ~ 218psi）。

结果表明，对于穿透传送激光焊接（TTLW）和焊接零件的力学性能来说，水分（多达7%）不是一个阻碍。在经过优化的焊接加工条件下，像刚刚成型一样干燥的尼龙6激光焊接的拉伸强度等于/接近摩擦焊（线性振动和轨道振动）和热板焊接接口的拉伸强度。二极管激光焊接搭接接头的剪切强度取决于已经暴露的尼龙的含水量而不取决于增强玻璃纤维的含量。在这项研究中，没有证据显示水分（至多4%质量分数）对尼龙中激光能量传递的重要作用。在对“潮湿”尼龙进行焊接时，穿透传送激光焊接技术比超声波焊接更为有效，且提供了与线性振动焊接材料相似的力学性能。

参考文献

Kocheny SA, Kagan VA, Macur J: Through-transmission laser welding of nylon — breaking the moisture barrier. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

杜邦：Zytel 7301（特征：未增强）

本课题研究了二极管激光速度、功率、光束面积以及焊接压力对由未增强尼龙6制成的T形接头的熔深、显微结构和焊接强度的作用。激光吸收部件（金属网）由天然的未增强的尼龙6和质量分数为0.21%的炭黑复合而成。本研究中所使用的激光为150W的二极管激光连续波，其焦距为100mm（3.94in）。理论的激光光束面积取决于焊接接口与激光镜片之间的距离，该距离就是激光的工作距离。光束面积随着光束的焦平面之外的工作距离的增加而增加。激光功率和速度分别从60W和450mm/min（17.7in/min）增加到100W和1500mm/min（59.0in/min）。不同的焊接压力在0.7 ~ 4.5MPa（102 ~ 653psi）范围。

未增强尼龙6的熔深随线能量、工作距离和焊接压力的增加而增加。根据评估，引起熔深的最低线能量范围为2 ~ 3J/mm。焊接强度也随着工作距离的增加而增加。在高工作距离可以得到均匀厚度的焊接热影响区，从而形成高焊接强度的焊缝。

参考文献

Prabhakaran R, Kontopoulou M, Zak G, Bates PJ, Baylis B: Laser transmission welding of unreinforced nylon 6. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

尼龙 6（形状：注射成型饰板）

使用波长为640nm ± 10nm、输出功率在15 ~ 150W范围、光束尺寸在2.5 ~ 4.5mm（0.10 ~ 0.18in）范围的二极管激光进行了焊接试验。经过优化的夹紧压力在1.0 ~ 1.2MPa

(145 ~ 174psi) 范围。

清洁的对接接头焊接的拉伸强度高于未增强尼龙 6 母体材料强度的 80%、质量分数为 14% 的玻璃填充尼龙 6 的母体材料的 84.3% 和质量分数为 33% 的玻璃填充尼龙 6 的母体材料的 83.7%。

参考文献

Kagan VA, Woosman NM: Efficiency of clear-welding technology for polyamides. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

联合信号公司：卡普纶

根据以下颜色形式对两个波长（830nm 和 1064nm）的激光透射率进行了评估：天然色、红色（有机）、黄色（有机）、绿色（有机）、白色（无机）、黑色（炭黑，质量分数为 0.2% ~2%）、黑色（非炭黑，激光受理，质量分数为 0.25% ~1%）。

所有形式的炭黑着色塑料都不能在近红外线波长传递激光能量。研究发现绿色和白色形式的透射率非常低（<10%）。着色为红色的 PA6 拥有高的透射率，其数值非常接近自然状态下的情况。与自然色和红色相比，着色为黄色的样品的透射率会显著降低。这一降低不取决于近红外线的波长，更可能是由于光线的漫散射引起的。对于绿色样品来说，1064nm、830nm 透射率的降低更像是着色剂的本征吸收的体现。

参考文献

Kagan VA, Chambers A, Bray RG: Forward to better understanding of optical characterization and development of colored polyamides for the infra-red/laser welding: Part II — family of colored polyamides. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

联合信号公司：卡普纶（材料组成：玻璃纤维增强，矿物填料，冲击性改善剂，着色剂）

使用 Nd：YAG 激光进行焊接（波长为 1.06μm）。

对于厚度为 3.2mm（0.125in）的短玻璃纤维增强的尼龙 6 来说，玻璃纤维含量从 0% 增加到 63%，激光透射能量单调下降（从 70% 降低至 20%）。矿物填料对能量的降低更为显著（在质量分数为 40% 时透射为 6.5%，这为质量分数为 45% 的玻璃纤维的 1/6）。冲击性改善剂降低了 50% 的激光透射性。

不同颜色的塑料在激光的透射能量上显示出明显的不同。红色样品的透射性接近自然色的透射性，然而黄色和绿色的透射性降低了 75% ~85%。炭黑将透射性降低到非常低的水平。

对于未着色的尼龙 6 来说，激光透射能量随着成型饰板/零件厚度的增加（从 0.8mm (0.031) 增至 6.25mm (0.246in)）而线性降低（从 85% 降至 42%）。

参考文献

Kagan VA, Bray RG, Kuhn WP: Laser transmis-sion welding of semicrystalline thermoplastics — Part I: optical characterization of nylon-based plastics. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

联合信号公司：卡普纶 8202（增强材料：玻璃纤维）

在这项研究中，二极管激光应用参数如下：

波长：808nm ± 10nm。

功率范围：20 ~ 100W。

激光束特性：最小焦距尺寸——直径为 0.8mm（0.031in）。

工作距离：32～150mm（1.26～5.91in）。

激光透射焊接用于有对接接头的T形注射成型样品中。

在经过优化的工艺条件下，激光焊接的尼龙6的力学性能等于/接近振动焊接或热板焊接的拉伸强度。

参考文献

Kagan V, Pinho GP: Laser transmission welding of semi-crystalline thermoplastics—Part II: analysis of mechanical performance of welded nylon. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

25.2.5 感应焊接

尼龙6（形状：注射模盘；增强材料：33%玻璃纤维）

现有的研究针对榫槽接头，将厚度为3.4mm（0.134in），长度为6.65mm（0.262in）的榫注射成型到上壳体中，且将与榫匹配的槽注射成型到下壳体中。焊接试样在室温下与便携式静水压试验机连接在一起；在感应焊接过程中进行1h的爆裂试验。

经过试验检验的最优的工艺条件为，低压保持11s的焊接时间、高压保持5s的焊接时间和保持20s的冷却时间。在焊接过程中，粘接层所采用的低压力为186.5kgf/m（10.5lbf/in），高压力为840.5kgf/m（47.1lbf/in）。平均爆裂强度为1.33MPa（192psi）。

经过研究，从常见的故障模式中（榫舌的断裂）可以得出进一步优化强度的建议措施，即对接头进行重新设计以增加榫舌的厚度。这些元件的表观强度极限似乎取决于其增强玻璃纤维在局部区域的分布情况。

参考文献

Nichols RJ, Kagan VA: Induction welding takes new aim for reinforced thermoplastics in high strength and load bearing applications. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

25.2.6 粘合剂粘接

联合信号公司：卡普纶8202

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表25.6中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表25.6中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表 25.6 采用乐泰公司的粘合剂对凯普伦 8202 尼龙 6 与尼龙 6 进行粘接的剪切强度

［单位：MPa（psi）］

材料成分		乐泰粘合剂					
		Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
未填充树脂	11rms	16.9（2450）	31.0（4500）	11.0（1600）	28.3（4100）	3.1（450）	9.7（1400）
粗加工的	15rms	16.9（2450）	31.0（4500）	11.0（1600）	28.3（4100）	3.1（450）	9.7（1400）
抗氧化剂	0.35% 抗氧剂 B1171	16.9（2450）	31.0（4500）	1.7（250）	28.3（4100）	3.1（450）	9.7（1400）
UV 稳定剂	0.63% 光稳定剂 944	16.9（2450）	31.0（4500）	11.0（1600）	28.3（4100）	3.1（450）	9.7（1400）
抗冲改性剂	5% EXL 3607	>15.2①（>2200①）	>31.0①（>4500①）	>11.4①（>1650①）	>29.7①（>4300①）	3.1（450）	9.7（1400）
阻燃剂	18% PO-64P，4% 氧化锑	1700（11.7）	31.0（4500）	11.0（1600）	28.3（4100）	3.1（450）	9.7（1400）
润滑剂 #1	0.5% 硬脂酸铝	1450（10.0）	31.0（4500）	2.4（350）	31.7（4600）	3.1（450）	9.7（1400）
润滑剂 #2	0.5% Mold WIZ INT-33PA	16.9（2450）	>31.0①（>4500①）	3.8（550）	>25.9①（>3750①）	3.1（450）	7.2（1050）
玻璃纤维填充剂	30% 3450 型玻璃纤维	16.9（2450）	>32.4①（>4700①）	1.0（150）	>30.7①（>4450①）	3.1（450）	9.7（1400）
滑石填料	30% Mistron CB Talc	16.9（2450）	15.2（2200）	14.5（2100）	19.0（2750）	3.1（450）	9.7（1400）
增塑剂	4% Ketjen-Flex 8450	22.8（3300）	>31.4①（>4550①）	4.5（650）	>30.7①（>4450①）	3.1（450）	9.7（1400）
抗静电剂	5% Larostat HTS 906	16.9（2450）	>21.4①（>3100①）	2.4（350）	>28.3①（>4100①）	3.1（450）	9.7（1400）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘接性能：Prism 401 和 Super Bonder 414 瞬间粘合剂可以达到的粘合强度是最高的，一般超过 27.6MPa（4000psi）。Black Max 380 瞬间粘合剂可以达到的粘合强度次之，随后是乐泰 3105（一种光固化丙烯酸粘合剂）。Flashcure 4305 光固化粘合剂也能够达到可以使基板失效时的粘合强度。Fixmaster 快速橡胶修补胶和 Hysol 3651 热熔粘合剂所达到的总体粘合强

度最低。其他经过测试的粘合剂普遍都可以达到良好的焊接强度。

表面处理：当使用 Depend 330 时，表面韧化处理可以在统计上使粘合强度显著增加，但是对于其他的粘合剂就没有那么明显的作用。经过对所有配方设计的研究，Prism Primer 770 与 Prism 401 瞬间粘合剂，或者是 Prism 4011 医疗器械瞬间粘合剂与 Prism Primer7701 的同时使用并不是没有效果，但是会显著地降低尼龙 6 的粘合性。

其他信息：聚酰胺与所有的乐泰粘合剂、密封剂、底层涂料和催化剂都是相适用的。

推荐使用的表面清洁剂是异丙醇与不含乌氨酸脱羧酶的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol*. 4, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

25.2.7 机械连接

拜耳：Durethan BKV 30H（增强材料：质量分数为 30% 的短玻璃纤维）

本研究中，机械连接件（嵌件/自攻螺钉）的静态和动态载荷极限已被测定。在注射成型凸台试样中使用玻璃纤维增强的尼龙 6。凸台的几何尺寸始终是常数：壁厚为 4.5mm (0.177in)；凸台长度为 26mm (1.024in)；导向孔直径为 4.0mm (0.157in)。除了用于螺纹嵌件的导向孔直径，根据嵌件的尺寸，其扩孔为 5.8 ~ 8.5mm (0.228 ~ 0.335in)。所有为自攻螺钉准备的凸台试样都有一个有着正常螺钉直径（5.0mm，即 0.197in）和 2.0mm (0.079in) 深的导入部分。聚酰胺试样的含水量（质量分数）为 1.5% ±0.2%。

除了自攻螺钉外，对尺寸为 M4 和 M5 的商业标准的热嵌入式带螺纹的黄铜嵌件和超声波嵌入式塑料嵌件进行了检测。塑料嵌件由基于 PA6-GF60 的半芳香烃共聚物制成。

在动态拉伸试验中，最小与最大载荷的比率为常数 0.1，应用的波形为正弦曲线。测试频率为 5Hz，在 23℃（73℉）且相对湿度为 50% 的条件下完成。

黄铜嵌件（尺寸为 M5）的静态拉脱限相当于塑料嵌件（尺寸为 M5）以及自攻螺钉（直径为 5mm，即 0.197in）。嵌件或自攻螺钉通过拉脱造成接头失效。对动态载荷极限采用逐步增加的方式进行测试，得出自攻螺钉和塑料嵌件的动态载荷极限大约为 3.4kN (760lbf)，而黄铜嵌件大约为 3.0kN (670lbf)。凸台的断裂（黄铜嵌件）、螺纹的拉脱/挫伤（塑料嵌件）和螺钉的拉脱（逐步增加负载测试）或螺钉断裂（单负载测试）都会造成接头失效。

参考文献

Tome A, Ehrenstein GW, Dratschmidt F: Joint performance of mechanical fasteners under dynamic load. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

拜耳：Durethan BKV 30H（增强材料：质量分数为 30% 的短玻璃纤维）

注射成型的凸台试样使用了玻璃纤维增强的聚酰胺 6。凸台的几何尺寸始终是常数——壁厚为 4.5mm (0.177in)；凸台长度为 26mm (1.024in)。但是在这其中要除去导向孔的直径，它在 3.8 ~ 4.0mm (0.150 ~ 0.157in) 范围内变化。聚酰胺样品湿度的质量分数大约为 1.5%。两个螺钉都有一个没有切槽的螺纹导程、宽的螺纹间距 ($P \approx 0.44$d)、较小的核心直径 ($d_{核心} \approx 0.54d$) 和较小的螺纹角 ($\alpha = 30°$)。

经过测量，在常温下，初始预应力降低了大约 30%，在 80℃（176℉）时，降低大约 60%。然而，在常温下，几个小时后，降低变得缓慢且趋于一个渐近值，在 80℃（173℉）

时，甚至在大约1000h后，松弛速度也没有明显的降低。这可能是由于超过了PA6-GF30的玻璃态转变温度，其应该约为25℃（77℉）。

为了降低螺钉侧翼和热塑性塑料凸台之间的表面压力，可以增加旋入长度或减少导向孔的直径。螺钉旋入长度的增加导致具有相似松弛速度的预应力水平更高，导向孔直径的减少也会导致预应力水平更高。与较大的螺钉旋入长度形成对比的是，在80℃（173℉）时，较小的导向孔的松弛速度依然较小。

参考文献

Tome A, Ehrenstein GW: Time dependent prestress force of threaded joints in glass fiber reinforced polyamide at elevated temperatures. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

拜耳：Durethan BKV 30H（增强材料：质量分数为30%的短玻璃纤维）

迟滞测量方法的灵敏度和精确性使得它适合对PA-GF30螺纹接头的动态载荷极限进行测定。逐步增加载荷试验允许在几个1～2h内对这些载荷极限作出测定。载荷和时间依赖性刚度的迟滞测量可以用来测定接头的力学性能。

相比于负载水平，刚度的下降、系统中阻尼的非线性增加表征了不可逆性损伤和在螺钉拉脱之前接头失效的起始状态。例如，阻尼的增加取决于接头、刚度、固定件的载荷位移情况和预载荷力。对于没有预载荷力的接头来说，在刚度开始下降之前其阻尼就开始增加了；有预载荷力的接头情形刚好相反。预载荷力的损失表征了阻尼的显著增加。在阻尼增加而刚度下降的接头中，光学显微镜显示龟裂在凸台的螺钉螺纹面的顶部形成。特殊设计螺纹的自带螺纹接头测试显示，它们可以支撑较高的动态载荷。拥有预载荷的接头的生存周期可以达到10^6范围。对于标准螺钉旋入长度的动态载荷来说，它受到螺钉强度的限制。

参考文献

Dratschmidt F, Ehrenstein GW: Threaded joints in glass fiber reinforced polyamide. *Polymer Engineering and Science*, 37 (4), p. 744, April 1997.

25.3 尼龙66

25.3.1 热工具焊接

杜邦：Zytel

在焊接Zytel尼龙66时的一个主要问题是氧化和结晶速度问题。当热板被移除使两个零部件结合在一起时，接头的表面暴露在冷空气中。在此期间，塑料往往会被氧化，从而产生不良焊缝。但是随着对某些参数的关注，采用热板焊接的Zytel可以得到与母体材料强度相当的良好的焊接强度。Zytel必须像在成型时那样干燥，最理想的情况是在成型后立即进行焊接，不过推迟48h也是可以接受的。如果无法达到以上这些条件，零部件必须进行干燥，使其含水量低于0.2%。水分对焊接质量的影响是十分显著的，可以观察到的多泡焊瘤是“湿”材料的标志，水分引起焊缝的氧化和多孔，并且因此降低多达50%的焊缝强度。

塑料的填料也会影响焊缝强度。使用天然的未增强的尼龙的结合接头可以达到最强。玻璃纤维显然不会相互焊接在一起，且不会穿过焊接接头，而是在模制品中形成相当于缺陷的焊接结合线，致使强度下降多达50%。接头的强度与玻璃纤维的含量成反比。炭黑也会对焊接质量产生不良的影响。

一般来说，热板的温度设置要比塑料焊接的熔融温度高出20℃（36℉）。就熔融温度为262℃（504℉）的Zytel尼龙66来说，其热板的温度应约为285℃（545℉）。必须注意的是，要避免热板上的特氟隆聚四氟乙烯涂层变成粘性的，因为在这个温度下，特氟隆涂层将会开始汽化。为了避免这一问题，热板的温度应该在265～270℃（509～518℉）范围，这比规定低20℃（36℉），因此应进行较长时间的热处理以弥补低温所带来的损失。在高温焊接过程中的另一个问题是，在大约275℃（527℉）时铝板将会发生弯曲。为了克服这一问题，应该使用铝铜板，这可使其弯曲温度提高至500℃（932℉）

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles — Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

尼龙66（增强材料：玻璃纤维）

应用的焊接参数如下：

热板最高温度：280℃（716℉）。

最大预熔夹紧力：3.0kN（670lbf）。

最大预熔和熔化时间：30s。

熔深：0.5～5.0mm（0.02～0.2in）。

最大保持/热封时间：15s。

使用0%和33%（质量分数）的增强玻璃纤维进行试验。

利用显微镜进行形态研究得到了原材料中和接口处玻璃纤维的分布和取向。在经过优化的热板焊接条件下，研究发现一些玻璃纤维取向与焊接平面是垂直的，或者至少成一个角度，并且发现它们也穿过接口。

参考文献

Kagan VA：Joining of nylon based plastic components — vibration and hot plate welding technologies. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

25.3.2 超声波焊接

杜邦：Zytel 101，Zytel 408，Minlon

由Zytel 101和其他的基本的尼龙66成型的零部件可以很容易地进行焊接，然而必要的条件是，该零部件必须处于“像成型般干燥”条件下。由Zytel 408和其他改进的尼龙66成型的零部件可以使用超声波焊接，但是要比Zytel稍微困难一点。这些硬度较低的树脂可能会造成损毁和在焊接角形成飞边等问题。

Minlon含有40%矿物填料，因为这些矿物填料的影响可以得到突出的焊接速度。然而，必须注意某些模制品对尖锐的角度、不良的切口或其他任何薄弱区域（在超声波作用下能够破坏）的敏感性，所以特别要注意零部件的设计，尤其是对Minlon10B140。

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles — Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

杜邦：Zytel GRZ（增强材料：玻璃纤维）

由于玻璃纤维的存在，玻璃纤维增强的Zytel（GRZ）可能比未增强的Zytel需要更多的

焊接面积。当使用这种方法对任何尼龙进行连接时，都应该对塑料进行干燥，因为水分会降低焊接强度。

参考文献

Dupont Glass-Reinforced Zytel Nylon Resin, Supplier technical report (E-22693), DuPont, 1993.

尼龙（特点：厚度为5.8mm（0.228in））

采用超声波焊接的尼龙66能都产生牢固的、平滑的焊缝。

参考文献

Ultrasonic Sealing and Slitting of Synthetic Fabrics, Supplier Technical Report, Sonic & Materials, Inc.

25.3.3 振动焊接

杜邦：尼龙66（形状：厚度为3.1mm（0.122in）的注射成型饰板）

对未增强的尼龙6和尼龙66进行了焊接试验。有三种几何形状的研究——对接焊缝，尼龙6网状的低熔合T形焊缝和尼龙6凸缘的T形焊缝。焊接在标称频率为211Hz且峰-峰振幅为1.78mm（0.07in）的条件下进行。

在各种不同的条件下进行评估得出，未增强的尼龙6/尼龙66的对接和T形焊接强度随着焊接压力的降低和焊透深度的增加而增加。在低压和高熔深的最佳条件下，对接焊缝的强度大约可以达到尼龙拉伸强度的70%~80%。

对于低熔合的尼龙6网状材料来说，T形焊缝可以获得更高的强度。当将低熔合材料从凸缘转换到网状时，其最大强度可以提高将近50%。

通过对断裂面的分析得出，强度较高的焊缝的特点在于两种聚合物之间形成了一种高等级的机械联锁。DSC分析表明，这些联锁是由两种聚合物在接合处的熔合形成的。

参考文献

Dyck C, Osti M, Bates PJ: Strength of vibration welds made from dissimilar nylons. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

杜邦：尼龙66

采用两种多用途的尼龙66化合物，一种是经过33%玻璃纤维增强的，另一种是未经增强的。材料进行“像成型般干燥”后焊接。

准备了三种焊缝几何形状：对接焊缝（焊接面积为133mm×3.2mm，即5.24in×0.126in），T形焊缝，以及公称直径为68mm（2.677in）的带盖板焊缝。不同夹紧压力在0.38~4.62MPa（55~670psi）范围，振动频率设置为210Hz，峰-峰振幅（2a）定为1.78mm（0.07in）。已经记录下熔深距离。

结果表明，有玻璃纤维填料的尼龙化合物的熔化速度要比没有填料的材料更快。对接焊缝的熔化速度要比T形接头快得多，但是这两种接头的熔化速度要明显快于带盖板焊缝。这种差异是由于实际的焊缝宽度和振动的运动方向垂直于焊缝方向所致。

参考文献

Bates PJ, MacDonald J, Sidiropoulos V, Liang H: Meltdown-time profiles of vibration welded nylon 66 compounds. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

杜邦：尼龙66（增强材料：玻璃纤维）

进行焊接和检验的由33%的玻璃纤维增强的尼龙66要进行“像成型般干燥”。所有的

样品都采用焊接面积为133mm×3.2mm（5.24in×0.126in）的对接焊接。

对于所有的焊接来说，振动频率为210Hz，峰-峰振幅定为1.78mm（0.07in）且保持时间为30s，不同夹紧压力在0.5～4.0MPa（73～580psi）范围，不同的熔深值在1～2mm（0.039～0.079in）范围。

对断裂表面的扫描电子显微镜分析得知，玻璃纤维聚集在焊缝界面。在断裂平面上还发现，纤维是优先沿振动方向取向的。取向程度取决于夹紧压力——低的压力会造成高的在飞边流方向上的取向。

热裂解分析证实，在焊缝界面处的玻璃纤维含量要高于在主体的含量。据推测，流动的部分纤维会受到抑制，因为它们的长度被未熔化的聚合物所固定。不受限制的熔化使得接口犹如飞边。随后，纤维积聚在接口处。

参考文献

Bates PJ, Mah JC, Liang H: Microstructure of vibration welded nylon 66 joints. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

杜邦：Zytel 70G33（增强材料：33%玻璃纤维）

对两种焊接形状进行了研究——T形焊缝和焊接到一个平面饰板上的称作焊帽固定（WCF）的圆柱形焊缝。T形焊接所使用的材料为尼龙6、尼龙66和聚邻苯二甲酰胺（全部为玻璃纤维增强的），WCF焊接使用的材料为尼龙6和尼龙66（全部为玻璃纤维增强的）。

T形焊缝的焊接参数如下：

频率：230Hz（大约）。

焊接压力：2.2MPa（319psi）。

振幅：1.8mm（0.070in）。

焊接时间：3s。

持续时间：3s。

WCF的焊接参数如下：

频率：232.6Hz。

焊接压力：1.4MPa（203psi）和4.1MPa（595psi）。

振幅：1.8mm（0.070in）。

焊接时间：2～9s。

持续压力：1.4MPa（203psi）和4.1MPa（595psi）。

持续时间：8s。

焊接深度：1.14mm（0.045in）。

所有的试验研究表明，当材料的熔融温度不同时，在较低的熔融温度下，焊接深度主要是通过材料熔融和随后的腐蚀达到的。虽然实际值不同，但是T形焊缝数据和WCF焊缝数据有类似的趋势。例如，当熔融温度相同或相似时，一般都会得到最佳焊缝，且当熔融温度差异很大时会得到较差的焊缝。

对于包含长玻璃纤维材料的各种焊缝来说，尽管各种材料在焊接时具有熔融温度差（15～72℃，即27～130℉），但是其焊接强度几乎相同。

这些数据表明，使用尼龙6、尼龙66和聚邻苯二甲酰胺可以得到优良的焊缝。

参考文献

LeBlanc V, Baylis B, Qi L, Watt D: Vibration welding of dissimilar nylons. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

尼龙 66（增强材料：玻璃纤维）

线性振动焊接所用参数如下：

焊接振幅：1.02～1.80mm（0.04～0.07in）。

熔深：0.5～5.0mm（0.02～0.2in）。

焊接频率：210Hz。

保持/冷却时间：2～10s。

最大夹紧力：3.6kN（810lbf）。

驱动压板夹具重量：2kg（4.4lb）。

轨道振动焊接所用参数如下：

焊接振幅：0.25～1.50mm（0.01～0.06in）。

熔深：0.5～2.0mm（0.02～0.08in）。

焊接频率：190Hz。

保持/冷却时间：2～10s。

最大夹紧力：0.5kN（110lbf）。

驱动压板夹具重量：2kg（4.4lb）。

使用玻璃纤维的质量分数为0%～33%的增强材料进行试验。

通过显微镜对形态的研究揭示了玻璃纤维在原材料和接口处的分布和取向。在优化过的振动焊接条件下，部分玻璃纤维的取向垂直于焊接平面，或至少形成一定的角度，并且穿过接口。

对线性振动和轨道振动连接技术的比较研究显示，轨道振动焊接对尼龙是非常有效的，且可以成为焊接小组件时采用的线性振动焊接和超声波焊接的替代方法。

参考文献

Kagan VA: Joining of nylon based plastic components — vibration and hot plate welding technologies. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

英国化学工业公司：Maranyl A 125

在焊接前，将饰板在95℃（203℉）的真空炉中进行12h的干燥。焊接条件如下：

频率：200Hz。

焊接压力：2.0N/mm^2（290psi）。

振幅：1.7mm（0.067in）。

焊接时间：2～7s。

位移：0.018～1.88mm（0.007～0.074in）。

冷却时间：3s

结果表明，焊缝的结晶性与母体材料相似或略高于母体材料本身，但是由于退火的作用，在邻近焊缝的母体材料中发现了一个具有较高结晶度的区域。

非结晶相的取向基本上不受焊接的影响，但是对于结晶相取向来说，则有明显的增加。

对于75%的母体材料来说，当焊接时间在2.5～7s范围时，对其拉伸强度几乎没有影响。

形态检验显示，在损失主要的非球粒状的焊接区域的情况下，随着焊接时间的增加，含有流线的焊接区域的宽度也随之增加。

参考文献

Stevens SM：Characterisation of nylon 6，6 vibration welds. ANTEC 1997，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Toronto，May 1997.

联合信号公司：卡普纶（材料成分：33%玻璃纤维增强）

对于33%玻璃纤维增强的尼龙66来说，在经过优化的焊接条件（最大夹紧载荷为4.5kN（1010lbf），焊接振幅为1.02～1.80mm（0.04～0.07in），焊接时间为4～25s，焊接频率为240Hz）下，其对焊接头得到的拉伸强度为81.9MPa（11878psi），这种强度比未增强材料提高了12%。对于焊接接头的形态研究表明，在这种情况下，焊接区域是“分散的”且不明确的。据推测，基体树脂的状态可能要比纤维取向起到更大的作用。

参考文献

Kagan V，Lui S，Smith GR：The optimized performance of linear vibration welded nylon 6 and nylon 66 butt joint. ANTEC 1996，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Indianapolis，May 1996.

25.3.4 旋转焊接

尼龙66

下列聚酰胺的固有特性对旋转焊接的单独过程阶段有着很大的影响：

- 弹性模量。
- 高结晶度熔点。
- 向低粘度熔体的突然转变。
- 填料和增强材料。
- 吸水率。

在固体摩擦阶段，能量转化为热量是通过零件几何形状的高刚性和材料的内在刚性达到的。由于这些材料的高熔化焓，因此需要高摩擦力才能达到熔融温度。

不稳定熔体薄膜的特点在于向低粘度熔融的突然转变，根据选定的工艺参数在很短的时间后就会向稳态熔融条件转变。这一点确定了最有利的焊接时间。额外的摩擦能量会降低焊接强度。

在整个连接过程中，吸收的水分以水泡的形式存在于焊缝中。在冷却或保持期间（只有缓慢的挤压流动），其强度在不利的条件下会受到不良的影响。

对达到最大强度的临界能量有一定的要求，根据预测超过此能量不会提高接头强度。事实上，过多的焊瘤会导致连接部件质量的降低，而材料本身的退化也会导致强度的下降。

参考文献

Potente H，Uebbing M：Friction welding of polyamides. *Polymer Engineering and Science*，37（4），April 1997.

尼龙66（增强材料：玻璃纤维）

未增强的聚酰胺，焊接系数（焊接强度/主体材料强度）没有达到0.2以上，不考虑压

力和速度。聚酰胺的低粘性导致其熔层的厚度非常薄，并且会迅速地冷却：制动时间不够短。玻璃纤维填充的聚酰胺在焊接系数为 0.7 时可以达到很高的速度。

参考文献

Tappe P, Potente H: New findings in the spin welding of plastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

25.3.5 激光焊接

尼龙 66（形状：织物）

表 25.7 列出了一系列由尼龙 66 制造的可供选择织物的搭接接头的机械测试结果。焊缝是使用聚焦光斑直径为 7mm（0.275in）、功率在 50 ~ 100W 范围的 Nd：YAG 激光焊接而成的。焊接速度在 500 ~ 1000mm/min（20 ~ 40in/min）的范围内。使用 25mm（1in）宽的样品在测试速度为 5mm/min（0.2in/min）的条件下进行剥离和搭接剪切试验。测试结果以接合处每毫米最大作用力的形式列于表 25.7 中。每一个结果都是三次测试的平均值。可以看出，作为母体材料强度的一部分，一个具有简单搭接结构的焊接接头就可以获得 25% ~ 40% 的数值。

表 25.7　一系列由尼龙 66 制造的可供选择织物的搭接接头的机械测试结果

材料颜色	厚度/mm	剥离强度/(N/mm)	搭接剪切强度/(N/mm)	母体材料强度/(N/mm)
褐色	0.19	0.70	2.08	8.47
橙色	0.23	2.16	5.22	13.95
青铜色	0.16	2.07	2.76	9.38
黄色	0.41	4.40	6.79	16.12

参考文献

Hilton P, Jones I, Sallavanti R, Frieder LP: Welding fabrics. *Industrial Laser Solutions*, 16 (6), p. 15, June 2001.

25.3.6 感应焊接

杜邦：尼龙 66（特征：未增强）

在这项研究中，感应焊接系统在 6.65MHz 的条件下运行。加热元件是用混有尼龙树脂的金属填充物制成的，且夹在两层尼龙板之间并放在加热线圈中间。本项研究中所使用的加热线圈是一个包含带有 600mm（23.6in）长、25mm（1in）宽铜板的 U 形线圈和 6.35mm × 6.35 mm 水冷方铜管的复合线圈。三因素（加热时间、焊接压力和功率水平）、两水平全因子设计试验用来评估剪切强度。

结果表明，影响焊接强度的主要因素是焊接时间，其次是功率和压力，另外焊接强度还与恒定功率和恒定压力下的焊接时间成比例。此外，样品的最终厚度与剪切强度成反比。在测试过程中，接头的弯曲是主要的失效形式。

参考文献

Wu CY, Agosto B: Implant induction welding of nylon 6/6. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

25.3.7 微波焊接

尼龙66

本项研究对使用导热的聚苯胺（PANI）薄膜，单模式微波焊接的尼龙66进行了研究。薄膜的可重复加热性已经被证明，其拥有再循环利用的潜力。在薄膜中，较高浓度的聚苯胺会提供更快的加热速度且能够达到更高的温度。尼龙66具有吸收微波能量的能力，并因此提高温度引起热量的流失；因此，在使用微波能量对尼龙66进行焊接时，其时间和/或功率的控制是很重要的。在样品不会过热的前提下，通过增加加热时间来提高接头的强度。提高聚苯胺在薄膜中的浓度可以提高接头的强度。使用浓度为17.72%的厚度为0.013mm（0.0005in）的聚苯胺薄膜，并在压力为1MPa（145psi），功率为2000W的条件下加热10s，可以得到的最佳的接头强度，为71.45MPa ± 2.64MPa（10363psi ± 383psi），这是主体材料强度的97%。在使用高传导薄膜进行微波焊接时，功率水平是一个重要的参数。由此看来，不同的浓度和薄膜厚度，再加上对功率水平和加热时间的严格控制，可以达到满意的接头强度。

参考文献

Wu CY, Staicovici S, Benatar A: Single mode microwave welding of nylon 6/6 using conductive polyaniline films. ANTEC 1996, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Indianapolis, May 1996.

25.3.8 机械连接

杜邦：Zytel GRZ（增强材料：玻璃纤维）

由于其良好的流动特性，玻璃纤维增强的Zytel（GRZ）可以应用在模内成型螺纹的零部件中。如果模内成型螺纹不可行，另一种装配方法是采用自攻螺钉，当螺钉嵌入塑料时，切削出螺纹。可以采用切削螺纹和成型螺纹。

参考文献

Dupont Glass-Reinforced Zytel Nylon Resin, Supplier Technical Report (E-22693), DuPont, 1993.

25.4 尼龙612

25.4.1 超声波焊接

杜邦：Zytel 151

由于干燥及低刚度，Zytel 151的注射零部件与其他尼龙612可以进行焊接，但是比Zytel 101要略微困难一些。这些树脂由于它们非常低的吸水性而闻名，因此，除了在极其严格的条件下，其在焊接前不用对零部件进行干燥处理。

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles — Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

杜邦：Zytel 77G（增强材料：玻璃纤维）

与未增强Zytel相比，玻璃纤维增强的Zytel（GRZ）可能需要更多的焊接面积。此外，由于水分会降低焊接强度，因此塑料应“像成型般干燥”。

参考文献

Dupont Glass-Reinforced Zytel Nylon Resin, Supplier Technical Report (E-22693), DuPont, 1993.

25.5 尼龙 46

25.5.1 粘合剂粘接

帝斯曼工程塑料公司：Stanyl TW300（特征：未增强）；**Stanyl TW200-76**（增强材料：玻璃纤维）

在这项研究中所使用的粘合剂有：普乐士 CP792（一种永久型氰基丙烯酸盐粘合剂）、环氧树脂 AW106 + HV953V 硬化剂（斯拜特种化工双组分环氧树脂）和 AF163-2K（3M 公司的一种改良的环氧树脂）。

进行试验所采用的三种受激准分子激光为氯化氙（波长为 308nm）、氟化氩（波长为 193nm）、氟化氪（波长为 248nm）。氯化氙激光的脉冲能量为 120mJ，氟化氩和氟化氪激光的脉冲能量为 100mJ，而脉冲宽度为 10 ~ 15ns。光束通过焦距为 500mm（19.7in）的反射镜聚焦，在粘附体中产生一个 6mm × 3mm（0.24in × 0.12in）的矩形区域。对于每一个样品，都会产生大约 25mm（1in）的加工宽度。

这项研究的结果表明，对于未增强和玻璃纤维增强的聚酰胺 4，6 来说，氟化氩激光对增加接头强度很有效。对于未增强的聚酰胺来说，大多数接头的内聚性失效都是在粘附体内的。

参考文献

Tavakoli SM, Riches ST: Laser surface modification of polymers to enhance adhesion. Part II — PEEK, APC-2, LCP and PA. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

25.6 尼龙 11

25.6.1 热工具焊接

尼龙 11（形状：管材）

表 25.8 中所显示的参数应用于整个制备热融合样品的研究过程中。

表 25.8 聚酰胺 11 的对接热融合工艺参数

加热器温度	260℃（500℉）
加热（浸泡）时间	60 ~ 75s
接触面压力	0.34 ~ 0.69MPa（50 ~ 100psi）

在一段管子中，取 6 个样品以湿/湿、干/干、湿/干组合进行热熔。按照美国材料试验协会 D638 中所描述的方法得到了其拉伸性能。对含飞边的完整焊缝的样品进行检验。

结果表明，与这段试验的管材相对比，含水量的不同对拉伸性能的屈服极限没有显著的影响。

参考文献

Patadia H, Pitzi TJ, Kanninen M F, Mamoun MM: An evaluation of polyamide 11 for use in high pressure/high

temperature gas piping systems. Plastics Piping Systems for Gas Distribution, Conference proceedings, October 1997.

25.7 尼龙12

25.7.1 概述

德固赛：Vestamid（尼龙弹性体）

所有已经确定的焊接技术都适用于Vestamid；应用的典型的技术为热工具焊接、超声波焊接、摩擦焊接（旋转或振动）、高频焊接和激光焊接。

参考文献

Handling and Processing of Vestamid, Supplier design guide (03/lau/500e), Degussa AG, 2003.

瑞士远东股份有限公司：Grilamid（透明尼龙）

所有用于工程塑料焊接的成熟方法都可以用来焊接Grilamid。高频率焊接和脉冲焊接用于焊接薄膜。应用热工具焊接、超声波焊接、旋转焊接、激光焊接和振动焊接方法得到的Grilamid成型制品可以获得很好的粘合强度。

当使用超声波焊接时，玻璃珠或玻璃纤维增强的产品（如Grilamid LkN-5H、Grilamid LV-3H）可以进行成功的焊接。使用超声波焊接几乎不可能对含有可塑剂的Grilamid（如Grilamid L25W40）进行焊接。

振动焊接存在着焊接玻璃纤维增强的Grilamid和非结晶的、透明的Grilamid TR55的可能性。由Grilamid制成的零部件可以使用自己形成螺纹的螺钉（自攻螺钉和切削螺纹）进行紧固。

参考文献

Grilamid Polyamide 12, Supplier design guide, EMS-Chemie.

瑞士远东股份有限公司：Grilamid TR55（特征：透明）；**Grilamid TR55FC**（特征：耐冲击，透明，耐化学药品）；**Grilamid TR55LX**（特征：耐冲击，耐紫外线，透明）；**Grilamid TR55LY**（特征：耐冲击，耐紫外线，透明）；**Grilamid TR55UV**（特征：耐紫外线，透明）

超声波焊接、振动焊接和脉冲焊接都适用于Grilamid TR55、TR55UV、TR55LX、TR55LY和TR55FC零部件的连接。当焊接时，其连接面只需进行熔融并迅速压在一起。也可以用超声波嵌入金属零部件。对于在成型后几小时之内不进行焊接的零部件来说，为了确保其随后装配时的粘合性，应该把其存放在防潮的包装中。

参考文献

Grilamid TR55 Transparent Nylons, Supplier design guide (GR1-104), EMS-Chemie.

25.7.2 热工具焊接

尼龙12（形状：管材）

制作好的热熔对接样品是为了评估热浸时间和界面压力对聚酰胺12管子熔接对接接头质量的影响。在热板温度为260℃（500℉）、扭矩保持时间为60s且冷却周期为10min的条件下制备样品。在熔合过程中应用的扭矩在13.6～27.1Nm（10～20ft · lbs）的范围内。在不同的压力下，热浸时间在60～90s范围内。

根据美国材料试验协会D1599得出快速爆裂试验的平均失效压力为10MPa（1460psi），

同时涉及50MPa（7230psi）的环向压力。所有的失效都是在热熔接头区域的外面发生的，并以韧性方式失效。当按照美国材料试验协会D638进行的测试得出，所有短期拉伸性能与未熔接管道的性能一致。为了测试流体静力强度而递送的样品，其温度为80℃（176℉）、压力为290psi（20bar）。试验时间超过1000h未发现有失效现象。

参考文献

Wolf R, Yoshifumi Y, Nakamura K, Patadia H: An evaluation of polyamide 12 for high pressure natural gas distribution applications. Plastics Pipes XIII, Conference proceedings, Washington DC, October 2006.

25.7.3 溶剂焊接

德固赛：Vestamid（尼龙弹性体）

使用例如间甲苯酚、含甲醇的苯酚，或者含甲醇的间苯二酚的溶剂焊接可以达到很好的粘合强度。

参考文献

Handling and Processing of Vestamid, Supplier design guide (03/lau/500e), Degussa AG, 2003.

瑞士远东股份有限公司：Grilamid TR55（特征：透明）；**Grilamid TR55LX**（特征：耐冲击，耐紫外线，透明）；**Grilamid TR55LY**（特征：耐冲击，耐紫外线，透明）；**Grilamid TR55UV**（特征：耐紫外线，透明）

使用以下溶剂可以使Grilamid TR55（或TR55UV）材料进行相互连接：甲酸，间苯二酚，间甲酚，异丙醇，正丁醇和间苯二酚—乙醇溶液（2∶3混合）。

参考文献

Grilamid TR55 Transparent Nylons, Supplier design guide (GR1-104), EMS-Chemie.

25.7.4 粘合剂粘接

德固赛：Vestamid（尼龙弹性体）

基于以下方面，可以使用商业上可获得的粘合剂对Vestamid进行粘接：

环氧胶：单组分或双组分粘合剂（间隙填充），适用于较大的粘合表面。热固性粘合剂降低了夹紧时间但有可能会提高粘合强度。

聚亚胺酯：单组分或双组分和（活性的）热熔粘合剂（间隙填充，大部分柔性粘合剂会有较长的贮存期和夹紧时间），适用于较大的粘合表面。

氰基丙烯酸酯：单组分粘合剂（凝结时间短），适用于小胶缝和粘合表面。

参考文献

Handling and Processing of Vestamid, Supplier design guide (03/lau/500e), Degussa AG, 2003.

瑞士远东股份有限公司：Grilamid（透明尼龙）

Grilamid材料突出的耐化学腐蚀性和非极性结构使其成为一种很难粘接的材料。然而，若使用正确的方法和合适的粘合剂，其技术性粘接是可能的。

氰基丙烯酸酯和丙烯酸酯的单组分粘合剂特别适用于Grilamid与金属的粘接。聚亚胺酯和环氧树脂双组分粘合剂同样可以用于Grilamid的粘接，通过预处理可以显著提高粘合质量，包括如下内容：

脱脂：用有机溶剂（例如丙酮）进行。

机械清除：擦洗、研磨或喷砂处理。

电化学：电晕放电或低压等离子体。

热：火焰处理。

化学：与腐蚀性物质反应。

参考文献

Grilamid Polyamide 12, Supplier design guide, EMS-Chemie.

25.8 尼龙 6/3T

25.8.1 概述

德固赛：Trogamid（特征：透明）

所有已确立的焊接技术都可以用于透明尼龙；所使用的典型的技术有热板焊接、超声波焊接、摩擦焊接（旋转或振动）和高频焊接。

参考文献

Trogamid Handling and Processing, Supplier design guide (02/wi/1000/e), Degussa AG, 2002.

赫斯股份公司：Trogamid（特征：透明）

原则上，透明尼龙可以承受所有已知的焊接工艺过程。为了使焊缝达到足够的强度，在接合区域采用260～310℃（500～590℉）的相对高的熔融温度是很重要的。由于其非结晶特性和熔化韧性，其对温度范围的不像半晶质聚酰胺那么严格。进行焊接的零部件的干燥性是很重要的，由于这一原因，推荐在零部件成型后尽可能快地进行焊接。否则，成型件要进行预先干燥，在100～110℃（212～230℉）的条件下，长达1h的干燥足以将令人烦恼的表面水分去除掉。

可以考虑的焊接方法有热工具焊接、振动和旋转焊接、超声波焊接。加热时间和焊接时间以及连接压力之间只有部分的相关性，因此必须依靠经验来确定。

参考文献

Huls Trogamid Polyamide 6-3-*T*, Supplier design guide (42. 01. 027e), Huls Aktiengesellschaft, 1992.

25.8.2 超声波焊接

赫斯股份公司：Trogamid（特征：透明）

在超声波焊接过程中，近场焊和远场焊都是可能的。通过超声波焊接，透明尼龙可与Vestamid进行结合。为了在成批生产中达到良好的焊接结果，在连接区域严守小尺寸公差是很重要的。通过超声波焊接进行定向能量转移，通过夹捏焊缝或使用能量引导器将能量施加到连接面已经被证明是可行的。

参考文献

Huls Trogamid Polyamide 6-3-*T*, Supplier design guide (42. 01. 027e), Huls Aktiengesellschaft, 1992.

25.8.3 溶剂焊接

赫斯股份公司：Trogamid（特征：透明）

对于溶剂焊接来说，二甲基甲酰胺（DMF）和浓蚁酸可以用来当做溶剂。溶解在这些

溶剂中的透明尼龙对不平滑的接合面有着填缝的作用。这种解决方案只能用在透明尼龙自身的粘接中。经过良好的粘接表面预处理后，其拉伸剪切强度可达到20MPa（2900psi）。

参考文献

Huls Trogamid Polyamide 6-3-*T*, Supplier design guide (42. 01. 027e), Huls Aktiengesellschaft, 1992.

25.8.4 粘合剂粘接

德固赛：Trogamid（特征：透明）

基于以下方面，可以使用商业上可获得的粘合剂对透明尼龙进行粘接：

聚亚胺酯：单组分或双组分和（活性的）热熔粘合剂（间隙填充，大部分柔性粘合剂会有较长的贮存期和夹紧时间），适用于较大的粘合表面。

氰基丙烯酸酯：单组分粘合剂（凝结时间短），适用于小胶缝和粘合表面。

环氧胶：单组分或双组分粘合剂（间隙填充），在高温下会获得更好的效果。

参考文献

Trogamid Handling and Processing, Supplier design guide (02/wi/1000/e), Degussa AG, 2002.

赫斯股份公司：Trogamid（特征：透明）

如果选用合适的粘合剂，透明尼龙成型件是有可能与其自身或其他材料（如金属）进行粘接的。特别值得注意的是，对连接表面进行擦磨和脱脂可以提高其焊缝强度。为了使粘接膜维持在粘接面之间，其连接压力应达到一定的数值。在试验测试中发现，最佳的连接压力大约在1MPa（145psi）左右。

参考文献

Huls Trogamid Polyamide 6-3-*T*, Supplier design guide (42. 01. 027e), Huls Aktiengesellschaft, 1992.

25.9 聚邻苯二甲酰胺

25.9.1 概述

阿莫科特性产品：Amodel AS1133HS（材料成分：33%玻璃纤维增强）

使用热板焊接、振动焊接、旋转焊接或超声波焊接可以轻易地将由Amodel树脂生产的零件连接在一起。

使用所有这些焊接技术可以得到令人满意的焊缝。超声波焊接需要近场能量的应用才能得到高强度的焊缝。一般情况下，吸收的水分并不会妨碍到焊接，但是，当样品只含有“标准”水分（1.8%）或更少时，会达到最佳的焊接结果。

参考文献

Amodel PPA Resins Engineering Data, Supplier design guide (AM-F-50060), Amoco Performance Products, Inc.

25.9.2 热工具焊接

苏威先进聚合物：Amodel AS1133HS（材料成分：33%玻璃纤维增强）

为了确定Amodel聚邻苯二甲酰胺的热板焊接特性而进行了测试试验。试验采用长度为102mm（4in）、宽度为25mm（1in）且厚度为6mm（0.25in）的条状试样。焊接设备所设置

的提供额定搭接剪切焊缝为13mm×25mm（0.5in×1in）。

当热板温度为330℃（626℉）、夹紧压力为207kPa（30psi）、焊接时间为40s且保持时间为20s时，可以达到最佳的焊接效果。焊缝的强度相当于母体材料本身的强度，更确切地说，在机械测试中，大部分试样的失效是在尖端处而不是接合处。

除非采用硅酮脱模剂且让热板恢复到热平衡状态，否则就会不定期地发生测试饰板粘在热板上的现象。试验表明，脱模剂的使用不会降低焊接强度。吸收的水分在干燥（0%）或标准水平（1.8%）时，不会对焊接强度有明显的影响，但是当其达到饱和条件（3.8%）时，就会减低焊接强度。

参考文献

Amodel polyphthalamide Design Guide, Supplier design guide (AM-50477), Solvay Advanced Polymers, 2002.

25.9.3 超声波焊接

苏威先进聚合物：Amodel AS1133HS（材料成分：33%玻璃纤维增强）

用于焊接Amodel AS-1133 HS树脂的超声波焊接设备是用微处理器控制的。在这个单元中，将会对用于样品的能量进行调谐。所用的样品为注射杯。铝质夹具将零部件保持在一个对接接头的形状。

将焊接角至接头距离限制为6mm（1/4in）或更少对进行近场焊接是完美的。采用远场焊接角位置得到的焊缝是薄弱的（强度只有近场达到的强度的1/3）且可能是不实用的。使焊缝达到可接受强度的条件是，焊接能量为750J且压力为4.3MPa（617psi）。

参考文献

Amodel Polyphthalamide Design Guide, Supplier design guide (AM-50477), Solvay Advanced Polymers, 2002.

25.9.4 振动焊接

苏威先进聚合物：Amodel AS1133HS（材料成分：33%玻璃纤维增强）

用于焊接Amodel AS-1133 HS树脂的振动焊接设备在240Hz的额定频率下运行。试验采用的式样长度为102mm（4in）、宽度为25mm（1in）、厚度为6mm（0.25in），且被焊接部分为13mm×25mm（0.5in×1in）的搭接形状。

这种方法非常有效，且很容易就可以得到强度与母体材料相同的焊缝。事实证明，这种技术对焊接条件的变化并不敏感，在0.6s的焊接时间和2.2MPa（320psi）的焊接压力下就可以得到很好的焊接结果。当使用的试样中含有正常量的水分（1.8%）时，得到的焊缝具有最佳的效果。

参考文献

Amodel Polyphthalamide Design Guide, Supplier design guide (AM-50477), Solvay Advanced Polymers, 2002.

苏威先进聚合物：Amodel A-1133（增强材料：33%玻璃纤维）；**A-1140**（增强材料：15%玻璃纤维，25%矿物质）；**AS-4133**（增强材料：33%玻璃纤维）

本课题研究T形焊缝，所使用的材料为尼龙6、尼龙66和聚邻苯二甲酰胺（全玻璃纤维增强）。

焊接参数如下：

频率：230Hz（大约）。

焊接压力：2.2MPa（319psi）。

振幅：1.8mm（0.07in）。

焊接时间：3s。

保持时间：3s。

所有的试验表明，当材料之间的熔融温度不同时，焊接深度主要取决于具有较低熔融温度的材料的熔化和之后的侵蚀。当熔融温度相同或相似时，所获得的焊缝是最佳的，当熔融温度相差较大时，所获得的焊缝是较差的。

对于含有长玻璃纤维的各种焊缝来说，在15～72℃（27～130℉）范围内焊接具有不同熔融温度的材料所得的焊接强度几乎没有变化。

这一数据表明，在尼龙6、尼龙66和聚邻苯二甲酰胺之间有可能获得质量较好的焊缝。

参考文献

LeBlanc V, Baylis B, Qi L, Watt D: Vibration welding of dissimilar nylons. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

25.9.5 旋转焊接

苏威先进聚合物：Amodel AS1133HS（材料成分：33%玻璃纤维增强）

由于焊接Amodel AS-1133 HS树脂的旋转焊接设备是惯性式的，储存在惯性轮中的旋转试样可获得的能量是有限的。

旋转焊接的试样是注射杯，这种试样是一种过盈连接构造。使用这种方法可以获得良好的焊接强度。

由于焊接条件的设定是设备特有的，所以一般情况下设置一个起点通常是没用的。相反，有人认为，随着焊接压力和角速度的增加，焊接强度也随之增加到最大值，在这之后，过多地增大无论是压力还是速度都会造成焊接强度下降。这种现象的解释是当焊接压力过高时，自转运动几乎会瞬间停止，且没有足够的熔化和流动的聚合物。另一个极端情况是高的角速度和低的焊接压力，顶部的零件基本上在底部零件上，自由旋转且没有在压力下形成过盈配合。因此，为了确保良好的连接，必须寻找出可以使熔化和施压成型同时发生的适当的焊接条件。

含水量对焊接强度没有明显的影响。

参考文献

Amodel Polyphthalamide Design Guide, Supplier design guide (AM-50477), Solvay Advanced Polymers, 2002.

25.9.6 粘合剂粘接

苏威先进聚合物：Amodel AS1133HS（材料成分：33%玻璃纤维增强）

Amodel A-1133 HS树脂的注射成型试样使用环氧和氨基甲酸乙酯粘合剂进行粘接。环氧树脂是双组分粘合剂，以Lord 305-1/-2的名义进行销售，而氨基甲酸乙酯是如大家所知的Lord 7500A式的双组分系统。

为了给Lord 305-1/-2准备测试试样，先要在120℃（250℉）下进行30min的固化处理，随后在室温下进行72h的调节后才能被使用。对Lord 7500 A粘合剂先要在90℃（200℉）下进行10min的固化处理，随后在室温下进行72h的调节。

分别在低温、室温和高温下进行了粘接强度测试。为了评估潮湿老化对试样的影响，将

试样放在温度为38℃（100℉）、相对湿度为100%的条件下进行14天的调节。有些试样在调节后立即进行测试，而其他的则在调节后放置24h再进行测试。

根据GM说明书#9751P的规定，采用侧面撞击测试仪对冲击性能进行测试。搭接剪切值的测量使用的是英斯特朗试验机，根据美国材料试验协会D1002的规定选择拉伸速率为0.5in/min（13mm/min）。其结果分别在图25.1和图25.2中给出。总的来说，环氧粘合剂的表现略胜于氨基甲酸乙酯。此外，不建议使用丙烯酸粘合剂对Amodel树脂进行粘合。

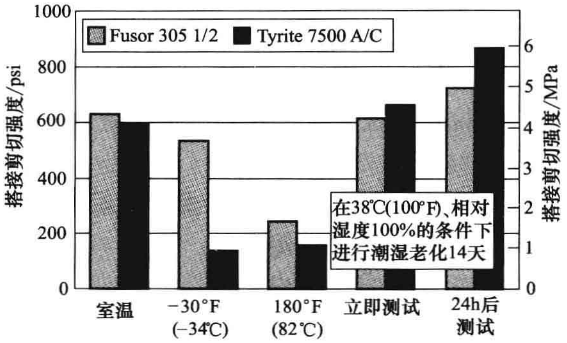


图25.1 PPA树脂经33%玻璃纤维增强的Amodel AS1133HS的搭接剪切粘合强度。

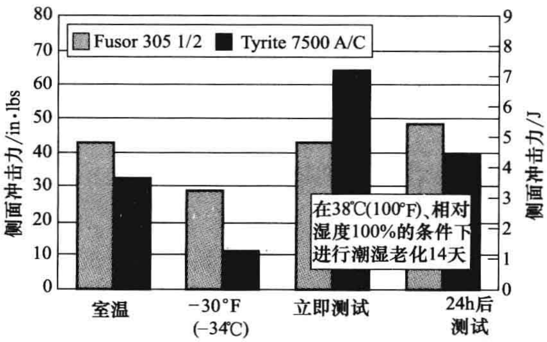


图25.2 PPA树脂经33%玻璃纤维增强的Amodel AS1133HS的侧面冲击粘接强度。

参考文献

Amodel Polyphthalamide Design Guide, Supplier design guide (AM-50477), Solvay Advanced Polymers, 2002.

25.9.7 机械连接

苏威先进聚合物：Amodel A1230L（材料成分：30%矿物填料）；**AS1133HS**（材料成分：33%玻璃纤维增强）；**ET1000HS**（特征：润滑，冲击改性，热稳定）

卡扣连接装配：悬臂式卡扣连接的推荐最大应变见表25.9。

表 25.9 由几个等级的 Amodel 树脂制造的悬臂式卡扣连接的推荐最大应变

Amodel PPA 等级	最大应变（%）
ET-1000HS	1.0
A-1230L	0.5
AS-1133HS	1.0

参考文献

Amodel Polyphthalamide Design Guide, Supplier design guide (AM-50477), Solvay Advanced Polymers, 2002.

阿莫科特性产品：Amodel AS1133HS（材料成分：33%玻璃纤维增强）

螺纹紧固件：为了确保塑料零件的安全性而使用金属螺纹紧固件对其进行装配时，装配过程受到温度变化的影响，金属和塑料不同的热膨胀系数可能会导致问题的出现。当螺纹紧固件收紧时，紧固件会被稍稍拉长，且会在基底上产生压应力。这种压应力保证了螺栓的紧固。

当组件被加热时，塑料零件和金属紧固件都将有膨胀的趋势。然而，由于受制于金属紧固件，塑料零件并不能膨胀。这一结果使得塑料的压应力上升，相应地，压缩蠕变和应力松弛也都有上升的趋势。压应力的松弛会导致螺栓保留扭矩的减少。

Amodel 树脂的热膨胀系数比尼龙 66 或尼龙 46 要低，因此，其更接近于钢的热膨胀系数。这种微小的热膨胀系数的差别会导致诱导应力的降低，这是由于受约束零部件的压应力是由热偏移引起的。对于这样的装配螺栓来说，这种蠕变降低的变化会有更好的保留扭矩。

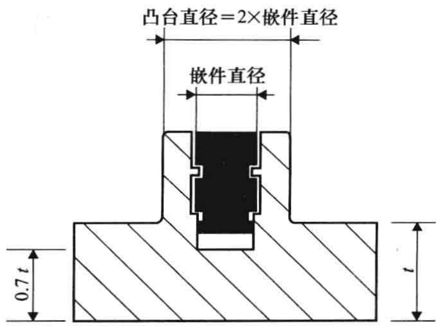


图 25.3 Amodel PPA 树脂超声波嵌件的凸台设计。

螺纹嵌件：图 25.3 描述了推荐使用的嵌件和使用 Amodel 苯丙醇胺树脂设计的凸台。

参考文献

Amodel PPA Resins Engineering Data, Supplier design guide (AM-F-50060), Amoco Performance Products, Inc.

25.10 聚芳香酰胺

25.10.1 超声波焊接

苏威公司：IXEF 1002；IXEF 1022（材料成分：50%玻璃纤维增强）

IXEF 化合物的刚性比其他的增强热塑性塑料都要好；由于这一结果，其振动能量更容易在模件中传播，且其焊缝强度也相对较高。

IXEF 化合物由超声波焊接粘合而成，所使用的焊接条件如下：

频率：18kHz。

最大功率：1.2kW。

焊接时间：0.8s。

保持时间：0.25～5s。

应用的超声波焊接力：580N（130lbf）。

剪切试验的结果在表25.10中给出。

表25.10 IXEF聚芳香酰胺超声波焊接的抗剪强度。

IXEF等级	剪切应力下的断裂强度/MPa（psi）
1002	26（3770）
1022	19（2760）
1501	19（2760）

参考文献

IXEF Polyarylamide Design & Molding Guide, Supplier design guide (Br 1563c-B-6-0901), Solvay Advanced Polymers, 2000.

25.10.2 粘合剂粘接

苏威：IXEF

IXEF化合物可以毫无阻碍地进行粘接装配。针对IXEF自身的粘接和IXEF与钢的粘接，已经对以下四种主要的粘合剂进行了评估：

丙烯酸树脂基粘合剂：单一组分快速固化粘合剂，适用于小部件粘接；坚韧等级可供选择；最佳填缝≤0.15mm（0.06in）；最高温度为80～100℃（176～230℉）（取决于等级）。

双组分丙烯酸树脂：坚韧且具有半柔性；对于很多基底来说具有良好的附着力；最佳填缝≤1mm（0.04in）；最高温度为100～120℃（212～248℉）（取决于等级）。

改良硅烷粘合剂/密封剂：柔韧性强；缓慢固化；最佳填缝3～4mm（0.12～0.16in）；具有良好的防水性。

环氧树脂：具有良好的剪切和抗冲击性；最佳填缝≤2mm（0.08in）；最高温度为100℃（212℉）

表25.11列出了各种粘接测试和粘合剂的剪切强度结果。

表25.11 （IEXF/IEXF和IXEF/钢）粘接测试结果

粘合剂		固化速度	典型的拉伸剪切强度/（N/mm^2）			
			IXEF 1022/IXEF 1022		IXEF 1022/钢	
			原试样②	磨蚀过的③	原试样②	磨蚀过的③
氰基丙烯酸盐粘合剂	乐泰406	5～20s	4～6	5～8	不推荐	5～7
增韧的氰基丙烯酸盐粘合剂	乐泰480	20～80s	3～7	8～10①	3～6	7～10①
双组分丙烯酸	乐泰3295	10～30min	3～5	3～6	3～5	4～7
双组分丙烯酸	Dexter H3101	8～20min	2～4	2～5	2～4	3～5
环氧树脂	乐泰3425	1.5h	3～6	4～7	3～6	4～6
改性硅烷粘合剂/密封剂	乐泰5069	3.5mm/24h（表面固化30min）	2～4	2～4	2～4	2～4

① IXEF的基体失效。

② 表面粗糙度值 $Ra = 1 \sim 2\mu m$。

③ 用60号砂纸进行研磨至 $Ra = 4 \sim 5\mu m$。

参考文献

IXEF Polyarylamide Design & Molding Guide, Supplier design guide (Br 1563c-B-6-0901), Solvay Advanced Polymers, 2000.

25.10.3 机械连接

苏威：IXEF

螺纹装配：表25.12概括了IXEF聚芳香酰胺板所能承受的最大拧紧力矩和螺钉能够抵抗的拔出力。

表25.12 IXEF聚芳香酰胺的螺杆组装

螺杆规格	孔的直径/mm	最大力矩/Nm	拔出力/kN
M2.6×0.45	2.0	>1.0	>1.7
M3.0×0.5	2.5	>1.5	>3.6
M4.0×0.7	3.4	>4.5	4.6
M5.0×0.8	4.3	7.5	6.1
M6.0×1.0	5.1	>6.5	7.7

参考文献

IXEF Polyarylamide Design & Molding Guide, Supplier design guide (Br 1563c-B-6-0901), Solvay Advanced Polymers, 2000.

苏威：IXEF 1022（材料组成：50%玻璃纤维增强）

IXEF化合物的热膨胀系数与金属的相似，因此，其可能在一个较为宽泛的温度范围内进行机械装配并保持相同的尺寸。

卡扣连接装配：由于IXEF 1022级别的刚性非常好且其拉断伸长率为1.7%，所以在没有研究压板的几何形状的时候使用卡扣连接装配是不明智的。

螺纹嵌件：能够用各种不同类型的金属嵌件来装配IXEF零部件：

- 用超声波对嵌件进行固定。
- 通过压力对嵌件进行固定。
- 将嵌件放入模具中。
- 环形嵌件。

如果使用超声波对嵌件进行固定，需要遵循设备生产商给出的操作指南的要求进行操作。如果没有操作指南，可以遵循下面经过检验的条件进行操作：

$$D = d - 0.6\text{mm}\ (0.24\text{in})$$

式中 D——嵌件外径；

d——孔直径。

参考文献

IXEF Reinforced Polyarylamide Based Thermoplastic Compounds Technical Manual, Supplier design guide (Br 1409c-B-2-1190), Solvay, 1990.

第 26 章　聚酰胺-酰亚胺

26.1　粘合剂粘接

苏威先进聚合物：Torlon

Torlon 聚（酰胺-酰亚胺）零件可以使用商用粘合剂进行连接，扩展了设计选择。可以对 Torlon 零部件进行粘合的各种粘合剂包括酰胺-酰亚胺、环氧树脂和氰基丙烯酸盐粘合剂。氰基丙烯酸盐粘合剂的耐环境性很差，不建议使用。一般情况下，不建议使用硅酮、丙烯酸和氨基甲酸乙酯粘合剂，除非受环境条件所限而排除其他的选择。酰胺-酰亚胺粘合剂是由 65 件 N-甲基吡咯烷酮（NMP）中的 35 件 Torlon 4000T PAI 粉末溶解而成的。应当指出的是 NMP 是易燃的有机溶剂，并且应该按照美国环保署、美国职业安全与卫生研究所和美国职业安全与卫生管理局所推荐的操作程序进行恰当的处理。

Torlon4203L、5030 和 7130 相对比较容易进行粘接。等级为 4301、4275 和 4435 的轴承本身具有润滑能力，因此较难进行粘接。表 26.1 对环氧树脂、氰基丙烯酸盐粘合剂和酰胺-酰亚胺粘合剂的剪切强度进行了对比。

表 26.1　Torlon 聚酰胺-酰亚胺与 Torlon 聚酰胺-酰亚胺之间粘接的剪切强度

聚酰胺-酰亚胺等级	环氧树脂①		氰基丙烯酸盐粘合剂②		氨基—酰亚胺化合物	
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa
Torlon 4203L	6000 +	41.4	2780	19.2	5000 +	34.5
Torlon 4301	2250	15.5	1740	12.0	2890	19.9
Torlon 4275	3500	24.1	1680	11.6	3400	23.4
Torlon 5030	4780	33.0	3070	21.2	5140	35.4
Torlon 7130	6400 +	44.1	3980	27.4	4750	32.8

① 德克斯特公司的 Hysol EA 9330。

② 美国洛德公司的 CA 5000。

粘接表面应该是没有污染物的，如油、液压油和灰尘等。在焊接之前，Torlon 零部件应该在温度为 149℃（300℉）的干燥烤箱中进行至少 24h 的干燥；对较厚的超过 6.3mm（0.25in）的零部件，要求的干燥时间更长。Torlon 表面应进行机械的刮擦和溶剂擦拭，或者用等离子体电弧进行处理以加强附着力。

对除了酰胺-酰亚胺的其他粘合剂，要按照制造商的指示进行使用。对酰胺-酰亚胺粘合剂，要在配合表面涂上一层薄的、均匀的薄膜以进行粘接。涂上粘合剂的表面应该使用比最小压力低的压力进行夹紧，大约为 1.7kPa（0.25psi）。多余的粘合剂要用 NMP 清理掉。

酰胺-酰亚胺粘合剂应该在通风的、空气循环烘箱中固化。推荐的周期在 23℃（73℉）时为 24h，在 149℃（300℉）时为 24h，在 204℃（400℉）时为 2h。这些零部件应该始终保持夹紧，直到冷却到 66℃（150℉）以下。

参考文献

Torlon Polyamide-imide Design Guide, Supplier design guide (T-50246), Solvay Advanced Polymers, 2003.

阿莫科特性产品：Torlon 4203L（材料成分：0.5%的碳氟化合物，3% 的 TiO_2）；**Torlon 4275**（特征：耐磨；材料成分：3%的碳氟化合物，30%的石墨粉）；**Torlon 4301**（特征：耐磨；材料成分：20%的石墨粉，3%的碳氟化合物）；**Torlon 5030**（材料成分：1%的碳氟化合物，30%玻璃纤维增强）；**Torlon 7130**（特征：抗疲劳；材料成分：1%的碳氟化合物，30%的石墨）；**Torlon 9040**（材料成分：1%的碳氟化合物，40%玻璃纤维增强）

使用美国材料试验协会 D256（Izod 冲击强度）机构所测定的造成 Torlon 4203L 试样焊缝断裂的冲击强度单位是 lb · ft。环氧粘合剂冲击失效的范围为 0.6 ~ 14.6lb · ft；氨基-酰亚胺化合物试样的失效范围为 8.3 ~ 20lb · ft 甚至更多。

氨基-酰亚胺化合物粘合剂在高温情况下能够提供高强度的焊缝。在 177℃（350℉）的情况下，含有 40% SCF 的氨基-酰亚胺化合物粘合剂可以承受施加于 Torlon4203L/Torlon 4203L 焊缝的超过 27.58MPa（4000psi）的搭接剪切应力。在同样的条件下，高温环氧树脂会在 5.17MPa（750psi）时失效。

Torlon 和金属零部件可以用粘合剂粘接在一起。只要采取适当的表面处理和粘合剂处理，就可以得到很高强度的焊缝。此外，当温度变化时，在接口处会有一个很小的压力。这是因为 Torlon 树脂与其他高温塑料不同，其具有与金属相似的膨胀系数。

粘接强度取决于粘合剂的选择和 Torlon 的等级，以及预处理和固化焊缝时使用的技术。当工作温度要求使用氨基-酰亚胺化合物粘合剂时，单纯的机械磨蚀可能不足以完成钢表面预处理，这时推荐对钢使用化学处理方法。

参考文献

Torlon Engineering Polymers/Design Manual, Supplier design guide (F-49893), Amoco Performance Products.

26.2 机械连接

苏威先进聚合物：Torlon

Torlon 的尺寸稳定性和抗蠕变力使其即使在旋转或滑动组件中也很容易与金属组件进行连接。由于 Torlon 的后固化部分非常坚硬，所以有些连接技术并不适用。

卡扣连接装配：卡扣连接对于 Torlon 零件来说是一种既经济又简单连接方法。对卡扣连接装配，在其反复装配和拆卸过程中必须考虑到应变极限的问题。Torlon 工程聚合物非常适合这种类型的使用，因为它们具有出色的疲劳强度。Torlon 树脂具有较高的模量和伸长率以及较低的蠕变，非常适合于卡扣连接设计。在锁紧位置的卡扣连接应该是没有应变的，或者其压力在材料允许范围之内。对于未填充等级的 Torlon 树脂来说，其可以承受多达 10% 的应变，而对于填充等级的 Torlon 树脂来说，其数值为 5%。石墨纤维增强等级的 Torlon 树脂不适合于卡扣连接装配。

自攻螺钉：一般情况下，Torlon 对于自攻螺钉来说太过坚硬了。建议使用螺纹孔。

模内成型嵌件：金属嵌件可以成型到 Torlon 零件中。预先加热到模具温度的嵌件可以保证其达到最好的效果。然而，聚酰胺-酰亚胺具有较低的收缩率，因此在嵌件周围要有足够的材料以分散由收缩而引起的压力，这一点很重要。

带螺纹的机械嵌件：自攻螺钉、自锁嵌件为连接 Torlon 零件提供了高强度、低压力的配

件。这些金属嵌件拥有外在“锁紧”的特征，为 Torlon 零件提供了固定处，且可以通过内部螺纹反复进行装配和拆卸。

模内成型螺纹：无论是外部还是内部的螺纹都可以与 Torlon 聚合物进行模压，达到 2 级公差水平。拥有 Torlon 螺纹的金属紧固件配件的运作状况很好，因为 Torlon PAI 的热膨胀性与金属非常接近，这样一来，在金属与塑料的接合处的热应力就会相对较低。由于模具成本的增加，一般来说，使用机器加工小批量的螺纹是明智可取的。

螺纹紧固件：由 Torlon 工程聚合物铸造的螺纹紧固件是很可靠的，这是由于 Torlon 工程聚合物较高的强度、模量和承载特性。

压配装配：过盈配合或压力装配可以以最低的成本提供强度很高的接头。对于这种连接工艺来说，Torlon 工程聚合物是理想的选择，因为其具有良好的抗蠕变性能。应该对直径过盈量、实际工作温度和负荷状态进行评估，以确定其压力是否在设计限度以内。

螺钉保持强度：金属螺钉可以安全可靠地连接有螺纹的 Torlon 零件。为#4-40 的螺钉钻孔，并在 4.8mm（0.19in）厚的饰板上攻螺孔。在表 26.2 中给出了由美国材料试验协会 D1761 决定的螺钉拉脱强度。

表 26.2 在 Torlon PAI 螺纹孔中的螺纹保持强度

	拉脱强度		约束长度
	lb	kg	每个孔中的螺纹数
Torlon 4203L	540	540	7.5
Torlon 4275	400	180	7.7
Torlon 4301	460	200	7.8

超声波嵌件：应用超声波嵌入法可以将金属嵌件嵌入未凝固的 Torlon 零件中。超声波焊接可以快速地将嵌件嵌入，连接强度可以与模内成型技术相比。模压的孔比嵌件略小一些。金属嵌件与 Torlon 零件接触。当施加在金属嵌件上振动频率超过 18kHz 时，产生的摩擦热会使塑料熔化。如果在压纹、螺纹等处有充足的塑料流动，则可以达到很好的强度。

参考文献

Torlon Polyamide-imide Design Guide, Supplier design guide (T-50246), Solvay Advanced Polymers, 2003.

阿莫科特性产品：Torlon

一般情况下，不推荐使用膨胀嵌件，不过每一种应用要视具体情况而定。

模内成型嵌件：成型到 Torlon 零件中的螺纹拥有很好的拉脱强度，但是，如果有更高的强度要求，可以在成型中加入金属嵌件。Torlon 树脂具有较低的热膨胀系数，因此，它是应用于连接塑料和金属的良好材料。为了便于成型，嵌件应该放置于与分模线垂直的位置，且应该进行固定，以免在注入熔融态塑料时发生移位。

参考文献

Torlon Engineering Polymers/Design Manual, Supplier design guide (F-49893), Amoco Performance Products.

第 27 章 聚碳酸酯

27.1 概论

Altuglas International：Tuffak（形状：薄片）

层状 Tuffak 聚碳酸酯薄片连接方法的比较见表 27.1。

表 27.1 层状 Tuffak 聚碳酸酯薄片连接方法的比较

连接方法	溶剂粘合剂	粘合剂粘接	自攻螺纹	中等螺纹	铆钉	热气体焊接	热刃口/板焊	超声波焊接	振动焊接	旋转焊接	等级标准	
											10 =	1 =
拉伸强度	8	4	10	10	10	10	10	10	10	10	母体材料强度	差
速度	3	2	2	1	3	2	7	10	6	6	快	慢
工具成本	–	1	1	1	3	5	7	8	8	5	昂贵	便宜
劳动强度	1	2	2	1	3	2	9	10	9	10	高	低
资本投资	1	1	2	2	2	4	6	9	8	5	最高	最低
外观美观性	10	3	5	5	5	2	8	9	9	8	最好	最坏
设备准备	1	2	3	3	3	6	8	8	7	5	长	短
零件尺寸	10	10	10	10	10	8	6	2	4	6	无限	小
与不相似材料的焊接性	可以	可以	可以	可以	可以	?	不可以	不可以	好	不可以		
零件设计	9	10	10	10	10	5	6	1	8	3	简单	复杂性受限制
材料费用	9	6	4	1	3	10	10	10	10	10	最贵	最便宜

参考文献

Tuffak Polycarbonate Sheet. Forming and Fabrication, Supplier design guide (ADV980496/APL：ATG-16S/web/6-00), Altuglas International, 2000.

陶氏化学：Calibre（特征：透明）

Calibre 聚碳酸酯零件的装配方法很多，从相对简单的机械安装到复杂的焊接操作。Calibre 聚碳酸酯提供了优质的溶剂和粘合剂；由于其硬度，允许超声波和振动焊接。

每个 Calibre 聚碳酸酯零件的装配方法都有其优点和缺点。决定哪种方法最适合特定的用途要考虑以下几个因素：产品需求、技术知识、生产需求、设备实用性和费用。考虑这些因素在产品设计阶段非常重要，以使零件和工具的设计满足装配需要。

Calibre 聚碳酸酯对于各种焊接技术来说是一种理想的材料，因为它是无定形结构。这种结构使得材料很坚硬，同时又有很宽的软化温度范围。同时，因为它是非晶体，聚碳酸酯焊接没有热应力。这些性能使得 Calibre 树脂可以进行振动（摩擦）和直接加热的焊接。

参考文献

Calibre Engineering Thermoplastics Basic Design Manual, Supplier design guide (301-1040-1288), Dow Chemi-

cal Company, 1988.

27.2 热工具焊接

拜耳：Apec，Makrolon

Apec 聚碳酸酯推荐的热板焊接参数如下：

热板温度：280～410℃（536～770℉）。

接头压力：0.1～0.9N/mm²（14.5～130psi）。

Makrolon 聚碳酸酯推荐的热板焊接参数如下：

热板温度：250～410℃（482～770℉）。

接头压力：0.1～0.9N/mm²（14.5～130psi）。

参考文献

Hot Plate Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan141

热板焊接的热影响区厚度大约为2.5mm（1in），焊接参数如下：

热板温度：243℃（469℉）。

匹配时间：10s。

匹配压力：659.3kPa（95.6psi）。

加热时间：35s。

转换时间：1.5s。

加压时间：60s。

加压压力：741.7kPa（107.6psi）。

参考文献

Krishnan C, Toussant D, Benatar A: Comparison of weld morphology of polycarbonate and polypropylene for hot plate, vibration and ultrasonic welding. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

拜耳：Makrolon

对于聚碳酸酯密封板来说，刃口的表面温度大约是290～345℃（550～650℉）。需要将加热元件的速度进行调整，以使将要结合的表面温度达到230℃（450℉）。然后它们立即在接触压力690kPa（100psi）下压在一起几秒钟，直到结合牢固。

参考文献

Engineering Polymers. Joining Techniques. A Design Guide, Supplier design guide (5241 (7. 5M) 3/01), Bayer Corporation, 2001.

聚碳酸酯（形状：3mm（0.118in）厚的片材）

随着熔化层厚度的增加，热板温度和加热时间不断增加，元件应力开裂的敏感程度不断提高。对于过程控制来说，这意味着应该选择可能的最低加热时间和热板温度。然而，这不利于过程的成本效率，增加循环时间所带来的额外成本必须和焊接过程后加热元件的存储费用相平衡。

参考文献

Potente H, Schnieders J: Influence of process parameters on the phenomenon of stress cracking during hot plate welding. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan 9030（形状：挤出片材）

测试样本是从 3.0mm（0.12in）、5.8mm（0.23in）和 12mm（0.47in）厚的挤出片材上切下的。焊缝焊透深度分别为 0.13mm（0.005in）和 0.66mm（0.026in），热板温度为 245℃（473℉），密封时间为 10s。

焊缝中必须要看见气泡集中在中间焊接平面的周围。它们被挤压流延长，在边缘变得更大。对每种厚度，焊接区域的厚度都随着熔化时间而增加。

参考文献

Stokes VK: Comparison of the morphologies of hot-tool and vibration welds of thermoplastics. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan9030（形状：挤出片材）

在这个研究中，可以通过湿的和干的聚碳酸酯试样的热工具焊接获得高强度。然而，为得到高的焊接强度，热工具温度参数范围对干的试样很宽，但是对湿的试样相当窄。零件的厚度起到的作用很小——随着工件厚度的增加，最优温度过程参数范围向高温偏移。更高的焊透深度会导致更高的焊接强度。加热时间的增加会减小为获得高焊接强度所需要的热工具温度。

在研究湿材料的焊接参数中，和基材相等的最高的焊接强度，在以下条件下获得：

- 3mm（0.12in）厚的试样：

——热工具焊接 260~290℃（500~554℉），加热时间 10s。

——热工具焊接 245~290℃（473~554℉），加热时间 15s。

——热工具焊接 230~275℃（446~527℉），加热时间 20s。

- 5.8mm（0.23in）厚的试样：

——热工具焊接 275~305℃（527~581℉），加热时间 10s。

——热工具焊接 275~290℃（527~554℉），加热时间 15s。

——热工具焊接 245℃（473℉），加热时间 20s。

- 12mm（47in）厚的试样：

——热工具焊接 260~275℃（500~527℉），加热时间 10s。

——热工具焊接 245~275℃（473~527℉），加热时间 15s。

——热工具焊接 245~275℃（473~527℉），加热时间 20s。

基于重复试验，一致的高焊接强度出现在 5.8 mm（0.23in）厚的试样中，其他参数：热工具温度 275℃（527℉），加热时间 10s；和热工具温度 245℃（473℉），加热时间 15s、20s。

一个有趣的结果是，与母体材料相等的很高的焊接强度，可以在焊接区域出现气泡时获得。少量的大气泡没有多大作用，而大量的小气泡导致了强度的减小。

热工具焊接可以产生高强度的焊缝，它需要精确的尺寸和温度控制，热工具表面的持续清洁。

参考文献

Stokes VK: A phenomenological study of the hot-tool welding of thermoplastics. Part 1: polycarbonate. *Polymer*, 40, p. 6235, 1999.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan 9030（形状：片材）

可以在不同材料热工具焊接中获得高强度。在聚碳酸酯和半晶质聚酯 PBT 的热工具焊

接中，和PBT相同的焊接强度是可以得到的。为得到不同材料的高焊接强度，使用不同的热工具焊接温度是很重要的。聚碳酸酯热工具温度变化范围是232～316℃（450～600℉），PBT的是246～316℃（475～600℉）。除热工具温度外，焊接强度取决于熔化时间。最高的焊接强度要经过超过20s长的熔化时间得到。热工具焊接得到的高焊接强度与这两种材料振动焊接所得到的强度一致。

虽然两种不相融无定形聚合物聚碳酸酯和聚醚酰亚胺的玻璃化温度分别是150℃（302℉）和215℃（419℉），焊接强度比得上聚碳酸酯。运用不同的热工具温度对焊接不同材料获得高强度是非常重要的。除热工具温度外，焊接强度取决于熔化时间。

获得相对高强度聚碳酸酯的热工具温度为302～329℃（575～625℉），聚醚酰亚胺的是371～399℃（700～750℉），可得到的相对强度（焊接强度/聚碳酸酯强度）是0.83，比振动焊接相对强度0.95要低。聚醚酰亚胺热工具温度427℃（800℉）下相对强度的变化不规律，这可能是因为聚醚酰亚胺在高温下的降解和在热板表面的沉淀影响熔化塑料层的清洁度。

参考文献

Stokes VK: Experiments on the hot-tool welding of dissimilar thermoplastics. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

拜耳：Makrolon

Makrolon聚碳酸酯可以加热焊接和密封，以下的步骤和其他塑料相似。

为了获得最大的结合强度，用Makrolon聚碳酸酯树脂制作的成型零件用热焊或热密封连接时要在121℃（250℉）下预干燥。在此温度下的干燥时间取决于零件厚度。

参考文献

Makrolon Polycarbonate —A Guide for Joining Techniques, Supplier design guide (55-A664 (10) C), Bayer, 1987.

27.3 超声波焊接

拜耳：Makrolon；Apec

对Makrolon和APec聚碳酸酯推荐20kHz频率，振幅25～40μm（0.0010～0.0016in）下的超声波焊接。

参考文献

Ultrasonic Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan 141

超声波焊接的热影响区尺寸大约为200μm（0.008in），相关参数如下：

焊接时间：0.3s。

保持时间：2s。

升压：2∶1。

G压力：275.8kPa（40psi）。

参考文献

Krishnan C, Toussant D, Benatar A: Comparison of weld morphology of polycarbonate and polypropylene for hot plate, vibration and ultrasonic welding. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

拜耳：Makrolon DP1-1456（特征：抗冲击改性，高流动性）

有与没有90°导能块的注射成型拉伸棒用超声波焊接，运用了四种不同的焊接模式——时间、深度参考点数值（RPN）、能量和绝对距离。结果显示抗冲击改性和高流动性的聚碳酸酯零件可以在不同焊接条件下很好地焊接。

参考文献

Chung JYJ: Effects of ultrasonic welding conditions on weld strength of impact-modified, high-flow polycarbonate. ANTEC 1997, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Toronto, May 1997.

聚碳酸酯

研究的结论是，聚碳酸酯里振幅曲线控制超声波焊接焊缝强度更高归因于残余应力的减小和分子随机性增大，振幅曲线控制没有减小聚合物降解。这通过将已焊接材料的相对分子质量和刚成型材料（未焊接样品）的相对分子质量进行比较可以看出。

对材料的焊接强度和焊接/保持力的关系进行了研究。焊接强度与焊接力成反比，高焊接力促进分子强烈取向，导致弱的焊缝，但在低焊接力（<455N，即102lbf）时这个关系不一定正确，这归因于试样翘曲。通过改变焊接循环中的力，发现可同时得到短的循环时间和高强度的焊缝，对于聚碳酸酯来说，在焊接时间减少43%时通过对力的控制可以获得最大的焊接强度。在聚碳酸酯中，焊接强度没有随着力的变化而增加，因为最终的焊接力很低，并且允许聚合物链在松弛状态下固化。

当同时使用振幅控制曲线和力的控制曲线时，将增加的强度和减少的焊接时间与没有振幅和力曲线控制的焊接进行了比较。发现增加的强度来源于分子取向的减少，减少的循环时间是高焊接力焊接的结果。总之，用相对高的振幅和力开始迅速焊接，用相对低的振幅和力完成具有最小分子取向的焊接。

参考文献

Grewell DA: Amplitude and force profiling: studies in ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1996, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Indianapolis, May 1996.

聚碳酸酯

超声波焊接是一个非常复杂而且难以控制的过程。对两种提高超声波焊接控制的方法进行了研究——功率阈值控制和闭环功率跟踪。功率阈值控制依赖于功率的快速上升，即在焊接即将结束的时候触发超声波振动的关闭装置。对于预先设置好功率曲线的闭环功率跟踪来说，为了利用已经被试验证明的能够产生良好焊接接头的功率曲线，在实际操作中的振幅是多种多样的。对于聚碳酸酯来说，这两种方法在生产高强度、低标准偏差的焊接接头时与能量模式和位移模式是一样的。时间模式对聚碳酸酯产生高强度接头的作用很小。

保压对接头强度的影响也进行了评估。以热板焊接为例，在焊接结束之前减小保持压力会大大提高接头强度，同时减小标准偏差。低的保持压力导致熔化聚合物挤出的减少，因此允许更多的分子间扩散的时间。

同时，低压力减小了和焊缝平行的分子取向，从而提高了接头强度。

参考文献

He F: Effect of amplitude and pressure control on the strength of ultrasonically welded thermoplastics. ANTEC 1996, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Indianapolis, May 1996.

聚碳酸酯

在超声波焊接研究中，运用的焊接曲线是一条恒振幅曲线，以及三条振幅曲线——一条

上升倾斜曲线、一条下降倾斜曲线，和一条金字塔形的曲线。这些曲线用于在聚碳酸酯零件上焊接剪切接头。用来评价每个曲线的响应值是飞边、拉伸强度，以及拉伸强度标准偏差。因为所有的曲线提供的拉伸结果都是可接受的和类似的，所以最重要的响应值是飞边量。这个响应值是评价每个曲线如何影响剪切接头焊接的基础。

从得到的结果来看，导致最少飞边的是下降曲线。可以推断其原因是最初的高振幅产生足够高的热量以产生一个良好的熔化前段，接下来振幅逐渐减少，较少的能量进入零件，少的飞边被挤出。因为产生了一个良好的熔化前段，零件很好地焊接在一起，产生了飞边较少的高强度的焊缝。这个理论在金字塔形曲线的结果中不是很显著。金字塔形的曲线可产生次少飞边。同下降倾斜曲线一样，金字塔形的曲线结束时振幅下降因而产生较少的飞边。但是，因为振幅在金字塔形的曲线开始时最小，熔化前段产生不是很好，所以拉伸破坏应力比下降曲线小，但仍然很大。

而研究斜曲线和恒振幅曲线得出的结果与上述理论相反。这些曲线明显比下降曲线或金字塔形的曲线导致的飞边更多。恒振幅曲线有点和斜曲线类似：过量的飞边，但是对拉伸强度影响较小。

从这些结果中得出聚碳酸酯零件的不同振幅曲线是如何影响超声波焊接剪切接头的，可以总结为，当超声波焊接聚碳酸酯的剪切接头，一个下降的振幅曲线会减少飞边和带来强度高的焊缝。

参考文献

Ford RL, Driscoll SB: Ultrasonic welding with amplitude profiling. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

聚碳酸酯

采用工业生产的参数得到焊接强度是2967N（667lbf），标准偏差是±1041N（234lbf）。如果振幅不同，可以得到的焊接强度为7735±138N（1739±31lbf），几乎和母料强度7850N（1765lbf）（见图27.1）相匹配。事实上，在这些焊接中，拉伸试验通常在焊接区域之外失效。

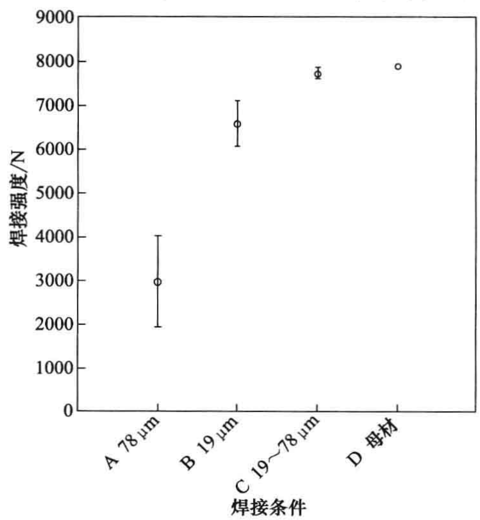


图27.1　在不同振幅条件下聚碳酸酯试样超声波焊接的焊接强度。
带有2个数的测试（即19~78μm）表示利用了振幅曲线。

已经显示出在超声波焊接中，变化的振幅可以更好地控制熔化过程。通过在焊接循环中减小振幅，可以：

- 将熔体保持在焊接层内。
- 获得更高强度的焊缝。
- 减小零件焊纹。
- 增加焊缝一致性。

超声波焊接的无飞边密封应用场合研究

应用由包含阶梯接头的聚碳酸酯管组成。要求密封结合线外没有飞边。在焊接循环中使用不变的振幅，零件会产生共振。这种振动模式会导致结合线某些区域过焊，在结合线外侧产生飞边，而其他区域却没有焊接上。企图通过修改工具以确保在焊接角的整个面上有统一的焊接角振幅并不会提高焊缝的一致性。

然而，修改了振幅以后可以得到更加均匀的焊缝。用一个相对高的振幅来开始熔化和在循环中减小振幅、减小不需要的振动并且允许均匀的焊接。切记一旦减小振幅，功率和速率的同时变化是很重要的，这样保证零件移动一致。唯一的缺点是焊接时间会增加 40% （从250ms 增加到 350ms）。

参考文献

Grewell DA, Frantz JL: Amplitude control in ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

陶氏化学：Calibre 2061-15（特征：医用等级，透明；熔体流动速率：15g/10min）；**Calibre 2080-15**（特征：伽马辐射稳定；注意；高丙烯腈容量）

这个研究旨在研究哪种树脂可以与其本身以及其他树脂进行有效地超声波焊接，以及用来识别其最大焊接完整性。除了着眼于不同热塑性材料的焊接强度外，这个研究还探索了伽马辐射和乙烯氧化物（EtO）灭菌对焊接强度的影响。评价了许多在在医疗保健业中使用的树脂，包括 ABS、聚碳酸酯（PC）、聚碳酸酯/ABS 混合物、苯乙烯丙烯腈（SAN）、热塑性聚氨酯树脂（TPU）、热塑性硬质聚氨酯（RTPU）、高抗冲聚苯乙烯（HIPS）以及通用聚苯乙烯（GPPS）。

量身定做的 I 形梁试件用来测试拉伸强度以测定每个树脂在固态、非粘接试件时的初始强度，没有结合试件结构。这种基线测试的数据用于确定焊接后保持的强度占原始强度的百分比。无定形树脂最常用的能量传导器是一个 90°的对接接头，作为焊接结构。

不断尝试以使这个成为“现实”研究。焊接过程的目的是产生高强度的焊缝，并且保持部件的美观。已知的用于判断焊接好坏的一个最重要的因素是沿着接头两边观察到的焊瘤和溢出的数量。良好的焊接的另一个性质是焊接横截区域的完全浸润，但问题是，只有只有采用纯聚合物作为顶部样块才能看到完整的焊缝。

在这个研究中，在某种程度上几乎所有树脂都可以成功焊接在一起（除了热塑性聚氨酯不能和聚苯乙烯结合）。总的来说，树脂相容性、在部件中传输振动能量的能力和不同的玻璃化温度是产生优良焊缝的决定性特征。虽然在试验中没有显示，但应注意到树脂的焊接能力也是超声波焊接结构的一个函数。在研究使用的结构中焊接性优良的树脂在其他结构中的焊接性可能并不好。

PC 树脂之间以及 PC 和 ABS 树脂结合得很好，PC 与 PC/ABS 混合物以及 SAN 结合的成功性有限，聚氨酯和聚苯乙烯结合得很差或者不能结合。在统计上，EtO 和伽马灭菌不会减

弱短期测试中的聚合物。

参考文献

Kingsbury RT: Ultrasonic weldability of a broad range of medical plastics. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

陶氏化学：Calibre（特征：透明）

Calibre 聚碳酸酯非常适合于超声波焊接。用于这些树脂的超声波焊接的考虑如下：需要高的能量水平来熔化树脂；任何树脂表面或者树脂内部的污染物，尤其是水分和喷涂脱模剂，都会导致不良的焊缝。

Calibre 聚碳酸酯可以和自身或者 PC/ABS 合金用超声波焊接，结果极好。例如，它和丙烯酸、聚亚苯基氧化物基底的树脂以及聚砜能很好地焊接。Calibre 聚碳酸酯是一种非常好的超声波焊接材料，即使是当诱导振动必须穿过 6.4mm（0.25in）厚的壁才能到达接头的时候。

在超声波焊接过程中一个非常重要的因素是焊接接头的设计。设计的选定包括材料、零件几何形状以及产品需求，一些标准接头设计可以满足这些要求。Calibre 聚碳酸酯用最平常的超声波接头设计就可以成功地焊接，尤其是当导能块用于最初的熔化过程时。

参考文献

Calibre Engineering Thermoplastics Basic Design Manual, Supplier design guide (301-1040-1288), Dow Chemical Company, 1988.

拜耳：Makrolon

Makrolon 聚碳酸酯用合适的超声波焊接可以得到非常好的、没有问题的接头。Makrolon 聚碳酸酯也可以和某些等级的 ABS 以及 Bayblend 聚碳酸酯/ABS 的混合物进行焊接。

总体上说，像玻璃这样的填充物不会阻止焊接，但是当玻璃含量为 10% 或者更高时，可能发生焊接角磨损。玻璃含量为 30% 或更高时结合就不好。一些外部脱模剂、润滑剂和阻燃剂也会对焊接质量有害。

为了得到最优焊接结果，应该考虑以下几点：

1）确保焊接角、零件，嵌套等都要真正相互校准。

2）当接头设计是具有能量传导器的对接接头时，能量传导器应该至少为 0.46 ~ 0.51mm（0.018 ~ 0.020in）高，尖顶角度是 60° ~ 90°。

3）采用近场焊最好。

4）如果需要密封，采用剪切接头最好。

参考文献

Makrolon Polycarbonate—A Guide for Joining Techniques, Supplier design guide (55-A664(10)C), Bayer, 1987.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan

热塑聚碳酸酯和自身或者某些等级的 ABS 或者某些等级的聚碳酸酯合金焊接时，可以使用超声波焊接。在超声波焊接设计热塑聚碳酸酯零件中，最重要的因素是接头设计。

焊接性取决于每单位面积振动能量的集中。因为热塑聚碳酸酯比其他许多热塑性塑料的熔点高，需要更多的能量引起材料在接头的流动。因此，用于焊接热塑聚碳酸酯零件的能量传导器应该相当高，至少高约 5.1mm（0.2in），宽约 6.4mm（0.25in）。

零件在模塑后应立即结合。如果晚一点结合，可能需要预干燥以提供最大的结合强度。这需要在热空气（121℃（250℉））烘箱中处理 1 ~ 2h。零件从烘箱中拿出来后要尽快结合。

参考文献

Lexan Design Guide, Supplier design guide (CDC-536E), General Electric Company, 1986.

27.4 振动焊接

拜耳：Apec，Makrolon

线性振动振幅在0.6~0.9mm（0.024~0.035in）范围，轨道振动振幅在0.4~0.7mm（0.016~0.028in）范围，Apec和Makrolon聚碳酸酯推荐的焊接压力为1~2N/mm^2（150~300psi）。

参考文献

Vibration Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan 141

热板焊接的热影响区厚度大约260μm（0.01in）的超声波焊接参数如下：

峰值-峰值振幅：0.76mm（0.03in）。

压力：206.84kPa（30psi）。

焊接时间：1s。

振动焊接比热容板焊产生更大的残余应力。

参考文献

Krishnan C, Toussant D, Benatar A: Comparison of weld morphology of polycarbonate and polypropylene for hot plate, vibration and ultrasonic welding. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan 141（形状：注射成型饰板）

这项工作比较了不同热塑性材料轨道焊和线性焊的焊接质量的不同。控制参数如下：

峰值-峰值振幅：0.76~1.8mm（0.03~0.07in）。

夹持压力：1.0~6.9kPa（145~1001psi）。

渗透深度：0.76~1.8mm（0.03~0.07in）。

结果显示轨道焊和线性焊的最大焊接强度没有很大的差别。因此，将轨道焊减少30%或者更多的循环时间而不降低最大焊接强度。

焊接强度随着渗透深度迅速增加，一旦达到稳定状态阶段就持平了。为了达到相同的焊接强度，轨道焊比线性焊少大约0.05mm（0.02in）渗透深度。

参考文献

Grewell DA, Benatar A: An application comparison of orbital and linear vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan 9030（形状：挤出板材）

试样是从3.0mm（0.12in）、5.8mm（0.23in）和12mm（0.47in）厚的挤出片材上切下的。焊缝在频率为120Hz、焊接振幅为1.59mm（0.063in）、焊缝焊透深度为0.5mm（0.02in）、焊接压力为0.52~13.79MPa（75~2000psi）的条件下形成。

在最低焊接压力下（0.52MPa，即75psi），中心焊接平面内看见有气泡，气泡的密度从中心向边缘增加。在0.9MPa的压力下，气泡被限制在试样的外边缘；在更高的压力下，在焊接区域不会看到气泡。焊接区域的厚度随着焊接压力的增加而减小。

参考文献

Stokes VK: Comparison of the morphologies of hot-tool and vibration welds of thermoplastics. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan 9030（形状：挤出板）

在正确的条件下，在120Hz时聚碳酸酯横截面厚度处焊缝会得到非常高的焊接强度，这个焊接强度等同于基体树脂。在正常形式焊接且有高强度的加工条件下，横截面厚度焊缝不一定能达到最大强度。因此，低频率（120Hz）焊缝的最优焊接条件必须基于横截面厚度焊接数据。

在120Hz的焊接频率下，横截面厚度焊接强度随焊接振幅和焊接压力的增加而增加。强度将继续随渗透增加而增加，直到临界渗透值，这个值比普通模式的聚碳酸酯振动焊接要高。这可以用在横截面厚度焊缝中，来解释在渗透值比普通模式的焊接大0.3mm（0.012in）时，获得稳态状态这个事实。在正确的条件下，可以获得和聚碳酸酯强度相当的焊接强度。焊接压力3.45MPa（500psi），渗透深度为0.25mm（0.01in）会导致很高的强度。

在更高的250Hz的频率下，聚碳酸酯可以获得极好的横截面厚度焊接强度，并且最优的条件同样适用于普通模式的焊接。

参考文献

Stokes VK: Cross-thickness vibration welding of polycarbonate, polyetherimide, poly (butylene terephthalate) and modified polyphenylene oxide. *Polymer Engineering and Science*, 37 (4), p. 715, April 1997.

通用塑料：聚碳酸酯

聚碳酸酯与自身或与其他热塑性塑料振动焊接达到的强度见表27.2。

表27.2 聚碳酸酯和自身或其他热塑性塑料振动焊接达到的强度

材料种类	PC							
拉伸强度②/MPa (ksi)	68 (9.9)							
断裂伸长率② (%)	6							
样品厚度/mm (in)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)
匹配材料								
材料种类①	ABS	M-PPO	M-PPO/PA	PC	PBT	PC/ABS	PC/PBT	PEI
拉伸强度②/MPa (ksi)	44 (6.4)	45.5 (6.6)	58 (8.5)	68 (9.9)	65 (9.5)	60 (8.7)	50 (7.3)	119 (17.3)
断裂伸长率② (%)	2.2	2.5	>18	6	3.5	4.5		6
样品厚度/mm (in)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)
加工参数								
加工类型	振动焊接							
焊接频率	120Hz							
焊接接头性能								
焊接因子（焊缝强度/较弱的纯材料强度）	0.83	0.24	0.29	1.0	1.0	0.7	1.0	0.95
断裂伸长率② (%)（额定的）	1.7	0.4	0.75	6	1.7	1.8	4.9	2.75

① ABS共聚物；改性PPO；改性/PA合金；PC；PBT聚酯；PC/ABS合金；PC/PBT合金；PEI。

② 应变速率为$10^{-2}s^{-1}$

参考文献

Stokes VK: Toward a weld-strength data base for vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan 9030（特征：5.8mm（0.228in）厚；形状：片材）

在正确的条件下，聚碳酸酯的横截面厚度振动焊接强度可以和聚碳酸酯强度相等。有下面例子：120Hz 焊接，焊接压力为 3.45MPa（500psi），振幅大于 1.27mm（0.05in），渗透深度大于 0.25mm（0.01in）。如果振幅是 0.95mm（0.01in），其他条件不变，也可以在更深的渗透深度下得到很高的焊接强度，但是需要更多的数据来确定。

参考文献

Stokes VK：Cross-thickness vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan 9030（形状：片材）

在聚碳酸酯的振动焊接中，固定焊接参数（频率、振幅和压力）的零件的整个循环时间会随着厚度的增加而增加，这是因为焊接过程中相Ⅱ-Ⅳ持续时间的增加。稳态条件下渗透随着试样厚度的增加而增加，但是随着焊接压力的增加而减小。因此，循环时间可以通过增加焊接压力而减少。

低焊接压力不仅可以导致循环时间的增加，也可以导致不可接受的高渗透阈值。例如，对于厚度低于 5.8mm（0.228in）的零件来说，压力 0.9MPa（130psi）下的循环时间和渗透阈值是可接受的，更高的压力预示着厚度要达到 12.3mm（0.484in）。如果用基于渗透控制来结束焊接循环，则渗透阈值一定要调整，以适应压力和零件厚度。

参考文献

Stokes VK：Thickness effects in the vibration welding of polycarbonate. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan 9030（特征：5.8mm（0.228in）厚；制造方法：挤出；形状：片材）

这个研究表明，在正确的条件下，在聚碳酸酯和聚醚酰亚胺的振动焊接接头中可以得到高的强度和延展性。这些接头可以达到两种材料中较弱的聚碳酸酯的强度。

然而，达到高强度的条件与纯净树脂的条件是不同的，并且不能只由渗透-时间曲线单独决定。在纯净的树脂中，一旦渗透率达到稳定状态就会获得高强度，使得渗透-时间曲线可以用来决定最优焊接条件。另一方面，因为“熔化”温度和粘度的不同，以渗透-时间曲线表示的聚碳酸酯与聚醚酰亚胺焊接的明显的稳定状态条件是靠不住的。这个过程是由聚碳酸酯的高熔化和流动率决定的，当达到明显的稳定状态时，就掩饰了仍然发展的熔化和流动情况。结果，即使渗透已经处在稳定状态下，焊接强度仍随着渗透增加。因此，优化聚碳酸酯和聚醚酰亚胺焊接需要另外的信息。

扫描电子显微镜研究说明，在焊接初期连接强度的主要机理是两个熔融高聚物的剪切混合在焊接交界面的机械联锁。加工条件影响这个区域的厚度和结构，在这个区域发生混合和联锁。

聚碳酸酯和聚醚酰亚胺焊接的表面破裂很有趣，高强度焊缝在两半破裂表面上都有深脊。脊的深度和强度似乎随着焊接压力的增加而增加。低频率焊缝和高频率焊缝有一个主要的区别。在频率为 120Hz 时，脊和振动的运动方向垂直，虽然脊通常是平行的，这些脊显示出“波形”结构；在频率等于 250Hz 和 400Hz 时，脊和振动的运动方向平行，同时脊结构更平行，且轮廓更加清晰。这些轮廓更加清晰的脊，出现在高频率（低振幅）焊接中，可能是由流动不稳定性引起的。

参考文献

Stokes VK, Hobbs SY: Strength and bonding mechanisms in vibration-welded polycarbonate to polyetherimide joints. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

拜耳：Makrolon

由 Makrolon 聚碳酸酯制造的两个零件表面压在一起时产生摩擦热，此时压力是 1.4～1.7MPa（200～245psi），在微小的移动范围，一个零件相对于另一个振动。当熔化状态到达接头界面时，振动停止，零件调整，快速地施加夹持力。整个循环时间是 4～15s。

参考文献

Makrolon Polycarbonate —A Guide for Joining Techniques, Supplier design guide（55-A664（10）C），Bayer, 1987.

聚碳酸酯

由聚碳酸酯制造的飞机空气扩散器管道第一次和环氧基树脂装配，需要喷砂准备和进行零件的预先结合，也需要具有夹紧装置的昂贵的固定设备和 24h 固化时间。

振动焊接产量从每分钟不到一个零件提高到每分钟三个零件，人工费用减小了 70%，整个零件的费用减少了很多。

参考文献

White P: Vibration welding. *Making It With Plastics*, Trade Journal, 1987.

通用塑料：热塑聚碳酸酯 Lexan

不同的材料可以通过振动焊接以及特殊的燕尾/榫槽接头设计（见图 27.2）和 Lexan 树脂结合。用这种方法，将低熔融粘度的材料熔化到高熔融粘度的材料中形成机械结合。

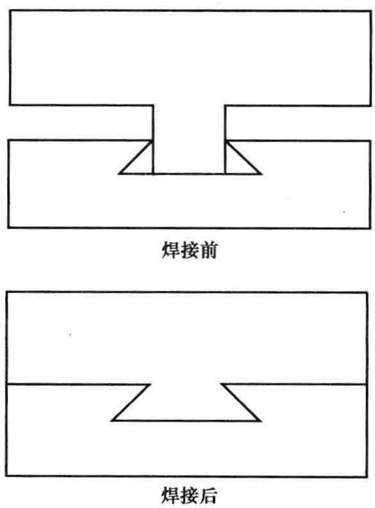


图 27.2 不同材料与通用塑料 Lexan 聚碳酸酯振动焊接的接头设计。

参考文献

Lexan Design Guide, Supplier design guide（CDC-536E），General Electric Company, 1986.

27.5 旋转焊接

陶氏化学：Calibre（特征：透明）

Calibre 聚碳酸酯非常适合旋转焊接。

三个变量会影响旋转焊接过程——旋转速度、旋转时间和施加在接头的压力。每个变量依赖于材料和接头直径。在大多数情况下，实际的旋转时间应接近 0.5s，整个焊接时间是 2s。当用旋转焊接装配时，应进行模型估算以确定旋转速度、时间、压力以及适合应用的保持时间。

参考文献

Calibre Engineering Thermoplastics Basic Design Manual, Supplier design guide (301-1040-1288), Dow Chemical Company, 1988.

拜耳：Makrolon

一个零件保持静止，另一个以 300 ~ 500r/min 的速度旋转，施加足够的压力使零件互相接触。摩擦产生的热量用来使表面达到密封温度 218℃（425℉）。当获得足够多的熔体时，旋转停止，压力继续增加以分配熔体且挤出过多的熔体，完成结合过程。

在某些情况下，当旋转驱动过程停止后，静止的零件可以和移动的零件一起旋转，这是为了抵消停止旋转零件时产生的惯性力。

参考文献

Makrolon Polycarbonate—A Guide for Joining Techniques, Supplier design guide (55-A664 (10) C), Bayer, 1987.

27.6 射频焊接

聚碳酸酯

在这个射频焊接研究中，聚碳酸酯的玻璃化转变温度明显高于其他材料，因此在样品准备时遇到很多困难。聚碳酸酯和其他研究材料（软质 PVC、硬 PVC、聚氨酯、苯乙烯 TPE）不可能进行可靠的结合，这些材料软化温度范围没有足够的重合。

参考文献

Leighton J, Brantley T, Szabo E: RF welding of PVC and other thermoplastic compounds. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

27.7 激光焊接

Sheffield 塑料：Hyzod GP（形状：薄片）

这个研究的目标是根据密封和强度来确定焊接参数（功率、聚焦光斑尺寸和移动速度）对焊接尺寸和焊接质量的影响。聚焦光斑尺寸有两个——25μm（0.001in）和 50μm（0.002in）。使用一个透明的气囊提供焊接压力，气囊里的压力变化范围为 0.02 ~ 0.45MPa（3 ~ 65psi）。

结果显示，一般情况下焊接强度和焊缝宽度（50μm 和 300μm，即 0.002in 和 0.012in）成比例，最大焊接强度对应的热输入为 0.025J/mm。还发现焊接强度独立于气囊压力，这是因为在焊缝中产生的真正的压力是材料热膨胀的函数。

参考文献

Grewell D, Benatar A: Experiments in microwelding of polycarbonate with laser diodes. ANTEC 2003, Confer-

ence proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

聚碳酸酯

根据不同的材料厚度和激光束（来自50W二极管激光器，波长为810nm±10nm）入射角来测量聚碳酸酯的透射率和反射率。聚碳酸酯的光学性能不依赖于厚度，其透射率很高，非常适合于传递激光焊接（TTLW）。随着入射角的增加反射率增加，而透射率减小。然而，即使入射角是75°，透射率仍然是40%，使其适合于TTLW。

参考文献

Rhew M, Mokhtarzadeh A, Benatar A: Diode laser characterization and measurement of optical properties of polycarbonate and highdensity polyethylene. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

聚碳酸酯（形状：注射模AWS G1超声波焊接试样）

由于激光设备的限制，AWS标准G1样品被切断以减小长度——从50.8mm（2in）到10mm（0.39in）或20mm（0.79in）。含有0.5%炭黑的聚碳酸酯用于吸收剂零件。因为聚碳酸酯吸水，在焊接前所有的样品在真空炉里在121℃（250℉）烘干6h。

95%的最大焊接因数在焊接界面的焊接功率为4.06W、加热时间为20s、焊接压力为0.427MPa（62psi）时获得。

参考文献

Rhew M, Mokhtarzadeh A, Benatar A: Through transmission laser welding of polycarbonate and highdensity polyethylene. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

聚碳酸酯（形状：2.9mm（0.114in）厚的注射平板）

在这些试验中，焊缝用波长为828nm的二极管激光焊接3.2mm（0.126in）厚的透明聚碳酸酯（顶部）和6.4mm（0.0252in）厚的黑聚碳酸酯（底部）得到。压力设置为69kPa（10psi），功率从50mW变化到1000mW，移动速度从30 mm/s（1.2in /s）变化到140mm/s（5.5in/s），聚焦光斑尺寸从25μm（0.001in）变化到50μm（0.002in）。

结果显示焊缝宽度与功率水平成比例。

参考文献

Grewell D, Jerew T, Benatar A: Diode laser microwelding of polycarbonate and polystyrene. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

聚碳酸酯（形状：2.9mm（0.114in）厚注射平板）

准同步焊接包括一个由焊缝长度引导的激光束、反射镜系统和高速（10m/s，即33ft/s）多次扫描结合面的方法。这确保了粘接表面的（准）同步以及均匀加热和塑化，并且在焊接过程中使翘曲的待焊件压在一起成为可能。

结合面的尺寸是69mm×2.9mm（2.27in×114in），吸收部分的炭黑含量（质量分数）是0.1%，采用的激光是波长1064nm的固态（Nd：YAG）激光。在持续波长操作中，激光的最大输出功率大约为250W。

对于T形接头来说，最高焊接强度是23N/mm^2（3300psi），并且可以预见密度是35W/cm^2（4600psi），接头位移是1.00mm（0.039in）。对于对接接头来说，最大焊接强度是32N/mm^2（4600psi），密度是30W/cm^2，熔化位移是1.00mm（0.039in）。

参考文献

Potente H, Fiegler G, Becker F, Korte J: Comparative investigations on quasi-simultaneous welding on the basis

of the materials PEEK and PC. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Fran-cisco, May 2002.

聚碳酸酯（形状：片材）

试验证明，聚碳酸酯可以用一个150W的二极管激光进行激光焊接，在波长为808nm时进行操作。8.5W的激光功率对于聚碳酸酯和炭黑颜料聚碳酸酯焊接来说已经足够，焊接速度是50mm/s（2in/s），产生一个1.2mm（0.047in）宽的焊缝。这些焊缝强度高且柔韧，拉伸试验显示了可以得到接近母体的屈服强度。

在功率小于8W时，聚碳酸酯和小的梁截面焊接会产生一个0.4mm（0.016in）宽的焊缝。

参考文献

Nilsson T, Lampa C: Diode laser welding of plastics. 7 th NOLAMP Conference proceedings, Lappeenranta, Finland, August 1999.

27.8 感应焊接

通用塑料：Lexan 9030（形状：挤出片材）

所有感应焊接用商业高频发生器（Emabond Systems HD500）来进行。气缸施加的压力用来控制焊接界面的压力；两种使用的焊接压力是0.21MPa（30psi）和0.41MPa（60psi）。

已被证明可以达到高达48%的相对焊接强度，虽然在感应焊接中焊接接头主要承受剪切应力，但是这个试验关注的是焊缝的拉伸强度。

参考文献

Stokes VK: Experiments on the induction welding of thermoplastics. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

陶氏化学：Calibre（特征：透明）

Calibre聚碳酸酯很适合感应焊接。它可以和自身、聚碳酸酯/ABS合金、丙烯酸、聚砜焊接。推荐包含剪切型焊缝的榫槽接头设计，这种接头形式可以产生快速而强度高的结合。

参考文献

Calibre Engineering Thermoplastics Basic Design Manual, Supplier design guide (301-1040-1288), Dow Chemical Company, 1988.

拜耳：Makrolon

利用这个过程可以将Makrolon聚碳酸酯电磁焊接成高强度的、干净的、结构化的、密闭的或耐高压的密封。除了和自身结合，Makrolon聚碳酸酯还可以和某些等级的ABS、丙烯酸、聚砜和SAN结合。

参考文献

Makrolon Polycarbonate—A Guide for Joining Techniques, Supplier design guide (55-A664 (10) C), Bayer, 1987.

27.9 热封

通用塑料：Lexan

这项工作描述了薄聚碳酸酯薄膜在碳填充的聚碳酸酯基体上的脉冲焊接，类似于密封微流体设备上的微通道。进行压力爆破试验是为了测试焊接强度。针对功率和加热时间对焊缝宽度和焊接强度的影响进行了研究，发现焊缝宽度随着功率和焊接时间的增加而增加；焊接

强度随着功率和时间的增加而增加，直到超过一个由于降解而降低的强度值。

Kapton 薄膜放在镍铬合金线的任意一侧以避免粘住。镍铬合金线的直径有 203.3μm (0.008in)、101.6μm (0.004in)、50.8μm (0.002in) 和 35.56μm (0.0014in) 四种，使用的夹紧力为 0.29 ~0.32MPa (42 ~46psi)。

产生的最高强度的焊缝有 150μm (0.006in) 宽，平均焊接强度是 26.73MPa (3877psi)，相当于 0.27MPa (39psi) 的爆破压力。像 80μm (0.006in) 那样小的焊缝可以在这个过程中得到，但是强度极低 (<1 MPa，即 145psi)。

参考文献

Krishnan C, Benatar A: Experiments in impulse welding a thinfilm lid for sealing micro-channels in microfluidic applications. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

拜耳：Makrolon

厚度为 0.25mm (0.01in) 的 Makrolon 聚碳酸酯薄膜可以进行条状密封。不能用这种方法密封厚片材，因为结合尺寸可能会发生扭曲。对条状密封聚碳酸酯薄膜来说，热元件的表面温度应该为 230 ~ 260℃ (450 ~ 500℉)。一般来说，需要的接触压力接近 690kPa (100psi)，通常循环时间是 0.5 ~2s，这依赖于待密封薄膜的厚度。

参考文献

Engineering Polymers. Joining Techniques. A Design Guide, Supplier design guide (5241 (7. 5M) 3/01), Bayer Corporation, 2001.

27.10 溶剂焊接

拜耳：Makrolon

可以将 Makrolon 聚碳酸酯材料的零件用亚甲基氯化物或乙烯二氯化合物粘接。亚甲基氯化物的快速蒸发率有助于防止溶剂-蒸气因为简单装配而截留。对需要更多的固化时间的复杂装配来说，使用乙烯二氯化合物是因为它的蒸发速率慢，允许更长的装配时间。配比为 60：40 的亚甲基氯化物和乙烯二氯化合物混合物很常用，这是因为蒸发率的减小，它比纯亚甲基氯化物有更长的零件装配时间。

当对聚碳酸酯采用溶剂焊接工艺时，会产生一定的脆化。在焊缝处，零件可能丧失一些它们原本优良的抗冲击性能。

当不适合 Makrolon 树脂配合零件的时候，含 5% ~10% 的聚碳酸酯的亚甲基氯化物溶液有助于产生光滑的填充的接头，注意不要用这种混合物来补偿严重不匹配的接头。增加浓度会导致在接头处产生气泡。

测试显示亚甲基氯化物零件在固化 1 ~2 天之后有最终粘接强度的 80% ~90%。当材料是聚碳酸酯树脂时，从提升设备用途和最大粘接强度的角度来说，固化零件更加复杂。此时不得不使用复杂处理程序，在应用中逐渐增加温度（见表 27.3）。

表 27.3 Makrolon 树脂溶剂粘接固化步骤

保持时间/h	零件或粘接温度/℃ (℉)	保持时间/h	零件或粘接温度/℃ (℉)
8	23 (73)	12	93 (200)
12	40 (100)	12	110 (225)
12	65 (150)		

参考文献

Engineering Polymers. Joining Techniques. A Design Guide, Supplier design guide (5241 (7. 5M) 3/01), Bayer Corporation, 2001.

Altuglas 国际：Tuffak（形状：片材）

溶剂焊接是把 Tuffak 片材与自身粘接的最简单的方法。溶剂形式可以是纯溶剂、可聚合单体/溶剂或变浓的溶剂。焊接接头具有低抗冲击，如果必须要高的抗冲击，则不推荐。

纯溶剂是水稀释的，其应用最常用的方法是利用针器毛细管功能或者边缘浸渍法。

因为空隙可以消除，可聚合单体粘合剂产生的接头比纯溶剂要好看。但是这些接头更加质脆，它们比纯溶剂接头更易坏。

变稠的粘合剂，其 10% ~15% 母体材料溶于溶剂中，可以用于粘接接头配合不好的零件。强度没有溶剂接头高。

一个好的溶剂接头应具有的拉伸强度是 17MPa（2500psi）。最纯净的接头是在溶剂干燥的过程中在接头上使用压力机施加压力得到的。

参考文献

Tuffak Polycarbonate Sheet. Forming and Fabrication, Supplier design guide (ADV980496/APL: ATG-16S/web/6-00), Altuglas International, 2000.

通用塑料：Lexan 9034（形状：5.5mm（0.22in）厚片材）

对聚碳酸酯溶剂焊接接头强度和它们的微结构的关系进行了研究。使用了三种溶剂：丁酮、丙酮和环己酮混合物、环己酮和酒精混合物。对焊接温度的影响同样进行了研究。

结果显示丁酮产生的焊接强度最大，然后是丙酮和环己酮混合物。当环己酮在酒精中的浓度（体积分数）小于 60% 时，没有观察到焊接发生；用 78% 的环己酮（体积分数）处理过的聚碳酸酯接头强度最大。并且，用环己酮处理过的聚碳酸酯接头强度随着焊接温度的增加而增大。

参考文献

Chang KC, Sanboh L: Strength and microstructure of solvent welded joints of polycarbonate. *Journal of Adhesion*, 56, p. 135, 1996.

西罗：Cyrolon AR（特征：透明，抗磨损涂层，3.2mm（0.126in）厚；制造方法：持续浇注；形状：片材）

Cyrolon AR 聚碳酸酯片材可以在一面或两面涂上防磨损涂层。当与没有涂层的表面粘接时，使用相同的溶剂或用于 Cyrolon 片材生产的聚合粘合剂。最重要的因素是要在零件边缘进行粘接，边缘必须在低压力下准备妥当。刮擦、湿砂和磨光都是准备光滑边缘的方法。不推荐火焰抛光，火焰过喷会导致表面涂层破裂或产生裂纹，这会导致涂层分层和丧失抗磨损性能。推荐在粘接之前零件进行退火处理。

在硬涂层表面进行溶剂粘接是不容易实现的，这是由于涂层具有耐化学性的缘故。在涂层表面或对涂层表面进行溶剂粘接时，涂层首先必须被砂纸打磨掉或刮掉。在移除涂层时，要保证粘接面是平的、干净的且没有应力的。退火处理薄片会确保表面无应力。

参考文献

Physical Properties Acrylite AR Acrylic Sheet and Cyrolon AR Polycarbonate Sheet, Supplier design guide (1632B-

0193-10BP), Cyro Industries, 1993.

陶氏化学：Calibre 2060-15（特征：透明）；**Calibre Megarad 2080-15**（特征：透明）

测试评价 PVC 管子与硬质、透明的热塑性塑料的粘接性/兼容性，这个研究提供了两项聚碳酸酯研究结果——通用等级和辐射稳定等级。后者不能和为适应暴露在伽马射线之下的特征颜色变化而仅作颜色补偿的聚碳酸酯混淆，其区别在于一种特殊的添加剂，这种特殊的添加剂减小了颜色变化。粘接强度和整体粘接完整性的差别可以通过添加剂的塑化效果来解释，这导致了低模内应力和微小的表面性能区别。

亚甲基氯化物和丙酮是唯一引起裂纹短期信号或聚碳酸酯中的其他溶剂腐蚀的溶剂。50：50 比例亚甲基氯化物和环己酮混合物或甲基乙基酮和环己酮混合物，具有令人满意的粘接强度。由四氢呋喃、环己酮、甲基乙基酮或 80：20 比例甲基乙基酮和环己酮混合物形成的粘接，其粘接强度介于最小和满意的之间。1，2-二氯乙烷会有高的粘接强度，但是插入容易而对辐射稳定不利。对于富含亚甲基氯化物的复合物和丙酮来说，插入的同样是少量的或不令人满意的。事实上，用丙酮做溶剂时，管道系统没有完全插入辐射稳定的诱发器中，所以没有进行精确的试验。50：50 比例甲基乙基酮和环己酮混合物被认为是聚碳酸酯最好的溶剂，没有短期、不良的影响。

参考文献

Haskell A: Bondability/compatibility of plasticized PVC to rigid, transparent thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

陶氏化学：Calibre（特征：透明）

Calibre 聚碳酸酯非常适合溶剂粘接，这是由于它的无定形天然结构的缘故。最普通常用的溶剂是不同浓度的亚甲基氯化物。这项技术的主要局限在于对溶剂的处理。

在溶剂焊接中，亚甲基氯化物（或亚甲基氯化物和乙烯二氯化合物混合物）涂抹于一个或两个元件的粘接面，然后两个元件通过固定装置被固定在一起。当零件被固定在一起，且承受 2 ~ 3MPa（250 ~ 500psi）的压力之后，粘合剂固化形成一个接头，这需要 1 ~ 5min，取决于接头区域的大小和形状。

环境条件的影响（如升高的温度）导致应力裂纹。因此，粘接应该在最大预期操作温度下干燥 24 ~ 48h。这通常会消除可能由溶剂滞留引起的裂纹。

参考文献

Calibre Engineering Thermoplastics Basic Design Manual, Supplier design guide (301-1040-1288), Dow Chemical Company, 1988.

拜耳：Makrolon

溶剂焊接是连接 Makrolon 聚碳酸酯自身或其他溶于相同溶剂塑料的一种实用方法，这种方法用最少数量的溶剂处理焊接区域来软化表面，然后夹住零件直到焊缝形成。

焊接程序：在溶剂焊接中最常犯的错误是使用的溶剂太多。只要在表面用很少的溶液湿润就可以了。过量的溶剂会导致气泡和溢出，这会减小粘接强度。

在使用溶剂之前，配合表面应去除油脂、灰尘或异物。良好的配合零件对于优质焊接来说很重要。配合应该无应变，使得接触应力在整个焊接区域均匀分布。

在溶剂焊接中，最好用快速而有效的方法涂薄薄的一层溶剂。对于 Makrolon 聚碳酸酯来说，只有其中一个匹配的表面需要用溶剂处理，这些零件应该在压力固定装置下夹在一起

几秒钟。压力在0.7~3.4MPa（100~500psi）范围以得到最好的结果。

最终的焊接强度主要是在匹配表面的溶剂浓度的函数。因此，必须很好地控制在溶剂应用和夹紧中的时间，因为如果蒸发太多，焊接质量会变差。夹紧时间相对来说不是很重要，但是推荐的最短时间为60s。

固化溶剂焊接的零件：用在室温下起作用的亚甲基氯化物溶剂焊接的零件应该在室温下固化24~48h。充足的空气循环可以有效地挥发移除溶剂。应该避免密封的包围情况，那样溶剂蒸发可能会受到限制，而因溶剂蒸气无法挥发导致材料变脆。Mobay 试验测试结论表明，使用乙烯二氯化合物，可以在1~2天内达到最终焊接强度的80%~90%。

可以在短时间内固化小的焊接区域，而大的区域可能需要长时间或窄的温度间隔以避免焊缝出现气泡。突然暴露在升高的温度下的未固化的零件可能会导致接头彻底失效。如果暴露在热水中，产生的焊缝是不透明的且脆弱的。一般来说，最高的固化温度应该等于或稍高于期待的最高使用温度。

参考文献

Makrolon Polycarbonate—A Guide for Joining Techniques, Supplier design guide (55-A664 (10) C), Bayer, 1987.

通用塑料：Lexan

溶剂焊接是几种连接 Lexan 树脂零件的可选方法之一。对待焊的 Lexan 树脂零件接头区域使用这种技术前要先设计好，这样两个零件才会精确配合，在它们脱膜时不产生压力。定位销钉或槽榫形状可以用来对正粘接区域，并且在应用溶剂后可以促进快速零件匹配。这些装置要浅以避免溶剂滞留在配合表面。待焊件必须在尺寸上造型良好，并且残余应力要小。

以下是 Lexan 树脂零件推荐的溶剂：

- 亚甲基氯化物，具有低的沸点40.1℃（104.2℉）以及很快的蒸发速率。
- 1%~5% Lexan 树脂在亚甲基氯化物中的溶液，用于极端的场合，在不可能得到匹配非常好的粘结区域时可以获得光滑、完全填满的接头。这个溶液具有低蒸发率的优势，不推荐高浓度溶液，因为很难得到无气泡的接头。

若溶剂焊接零件是 Lexan 树脂浇注的，则要用最少的溶剂进行最好的粘接。这和其他热塑性材料的推荐过程是相反的，那种情况是将连接件的其中一半或两半在溶液里浸泡相当长的一段时间。溶剂只在 Lexan 树脂接头的一面使用，另一面要保持干燥，并在固定装置中固定好。待焊面不应有灰尘、油脂以及脱模剂。

以下两种方法应用亚甲基氯化物以确保使用最少溶剂来焊接 Lexan 树脂：

1）用溶剂浸透一片毡制品、海绵或其他吸收材料。之后接受亚甲基氯化物的 Lexan 树脂零件应该压在浸满溶剂的材料上，并且夹紧到具有均匀压力分布的配合零件上（见图27.3）。

2）用木头或金属制造配合副本，将副本在溶剂里浸透，并挤压 Lexan 树脂零件表面，以产生一薄层溶剂。允许几秒钟的干燥，然后装配零件以备焊接，在夹具或固定装置上施加均匀的压力（见图27.4）。

只要两零件放在一起就应该施加压力。压力为1.4~4.1MPa（200~600psi）时认为会有最好的效果。在固定装置中的持续时间大约是1~5min，取决于粘接区域的大小。

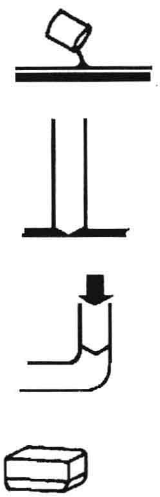


图 27.3 Lexan 聚碳酸酯的溶剂焊接步骤 1。

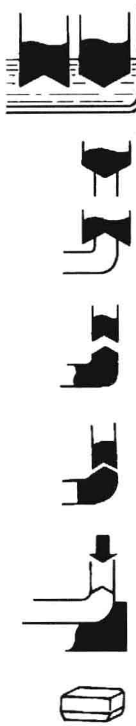


图 27.4 Lexan 聚碳酸酯的溶剂焊接步骤 2。

焊接接头应该是干净的且没有气泡。气泡的出现说明不是溶剂过量就是压力不足和/或者压力保持时间太短。溢出是压力过大的标志。焊接区域结晶说明溶剂过量和从溶剂使用到压力设备中装配零件之间间隔的时间太长。

虽然经过压力设备保持后焊接零件可能不会被破坏，室温下获得足够的焊接强度通常是通过干燥焊接零件 24 ~ 48h 得到。如果溶剂焊接零件要在高温下使用，就需要更长的溶剂移除过程，否则当温度升高时会出现气泡和产生差的焊缝。一般来说，溶剂移除过程最终需要达到一个等于或者稍微低于最高使用温度的温度。这可以通过每小时升高 2.8 ~ 5.6℃（5 ~ 10℉）来完成，具体取决于粘接尺寸大小，直到达到期望的温度。

93℃（200℉）下典型的溶剂移除过程如下：

在 25℃（77℉）下干燥 1h；

在 38℃（100℉）下干燥 24h；

在 71℃（160℉）下干燥 24h；

在 85℃（185℉）下干燥 24h。

参考文献

Lexan Design Guide, Supplier design guide (CDC-536E), General Electric Company, 1986.

通用塑料：Lexan GR1110（特点：伽马辐射稳定）

基于一项确定伽马辐射对溶剂焊接强度的影响的研究的结果，发现对 Lexan 聚碳酸酯 GR1110 树脂进行溶剂焊接是有效的。在极高剂量伽马辐射 10Mrad 下，粘接强度没有损害。

在所有情况下，失效都在基材位置，这说明材料破坏不在焊接接头。因此，焊接强度比报告的数值要大或至少相等。

亚甲基氯化物/环己酮组合物对粘接 Lexan 聚碳酸酯到 PVC 有最好的结果。

参考文献

Guide to Engineering Thermoplastics for the Medical Industry, Supplier design guide (MED-114), General Electric Company.

27.11 粘合剂粘接

陶氏化学：Calibre 300-4

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm（0.03in），横向速度为 0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪 4000 来确定表面粗糙度。

虽然表 27.4 中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表 27.4 中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表 27.4 采用乐泰公司的粘合剂对 Calibre 300-4 PC 与 PC 进行粘接的剪切强度

[单位：MPa（psi）]

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
非填充树脂 4rms	5.2 (750)	26.6 (3850)	13.8 (2000)	11.0 (1600)	7.6 (1100)	25.5 (3700)
粗加工的 18 rms	11.0 (1600)	31.0 (4500)	23.5 (3400)	27.2 (3950)	7.6 (1100)	31.4 (4550)
抗氧化剂 0.1% 抗氧剂 168，0.1% 抗氧剂 1076	5.2 (750)	26.6 (3850)	13.8 (2000)	27.2 (3950)	3.8 (550)	25.5 (3700)
UV 稳定剂 0.4% Tinuvin 234	5.2 (750)	26.6 (3850)	13.8 (2000)	11.0 (1600)	3.1 (450)	25.5 (3700)

（续）

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
阻燃剂 2% BT-93，1% 氧化锑	9.0 (1300)	>28.3① (>4100①)	>23.5① (>3800①)	>23.5① (>3400①)	2.1 (300)	25.5 (3700)
冲击改性剂 5% 乳胶粘合剂 EXL3607	6.9 (1000)	26.6 (3850)	13.8 (2000)	>31.0① (>4500①)	3.5 (500)	25.5 (3700)
润滑剂 0.3% Mold Wiz INT-33UDK	9.0 (1300)	26.6 (3850)	13.8 (2000)	26.6 (3850)	7.6 (1100)	33.5 (4850)
玻璃填充剂 23% 3090型玻璃纤维	7.9 (1150)	26.6 (3850)	4.1 (600)	18.8 (2700)	7.6 (1100)	33.5 (4850)
着色剂 4% CPC07327	11.4 (1650)	26.6 (3850)	3.5 (500)	27.2 (3950)	7.6 (1100)	25.5 (3700)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：Flashcure 4305 光固粘合剂得到的粘接强度比测试的未填充聚碳酸酯等级的要高。Prism 401 和 Super Bonder 414 都是氰基丙烯酸盐粘合剂，乐泰 3105、光固丙烯酸粘合剂、Hysol E301-CL 环氧粘合剂、Hysol 3631 热融粘合剂和 Fixmaster 高性能环氧基树脂都能在 PC 上达到非常高的粘接强度。Hysol 3651 和 7804 热融粘合剂得到的粘接强度最低。

表面处理：表面粗糙度高要么不产生影响，要么在统计上显著提高 PC 的粘接性。将 Prism Primer770 与 Prism 401 速凝胶结合使用，或者将 Prism 4011 药物设备速凝胶与 Prism Primer 7701 结合使用，对于大多数评估的 PC 来说导致统计上的粘接强度显著降低。

其他信息：聚碳酸酯大体上和丙烯酸和氰基丙烯酸盐粘合剂兼容，但是有潜在的应力开裂的可能。除此之外，在粘合剂固化之前，聚碳酸酯可以被双组分非相混型丙烯酸粘合剂的催化剂腐蚀。任何过量的催化剂都应该立即从聚碳酸酯表面移除。聚碳酸酯和厌氧粘合剂不相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics Vol. 4, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

拜耳：Makrolon

UV-固化粘合剂对于透明材料（如 Makrolon 聚碳酸酯）是极好的，一般在几秒固化之后

就会有高粘接强度。双组分的丙烯酸粘合剂一般有高的粘接强度。注意选择这些粘合剂，因为一些催化剂对 Makrolon 聚碳酸酯是具有腐蚀性的。

参考文献

Engineering Polymers. Joining Techniques. A Design Guide, Supplier design guide (5241 (7. 5M) 3/01), Bayer Corporation, 2001.

Altuglas 国际：Tuffak（形状：薄片）

粘合剂粘接产生强度最弱的接头，在其他方法不能使用时使用，例如粘接两种不同的材料（如 Tuffak 聚碳酸酯和金属）时。

表 27.5 给出了一系列适合热固性粘合剂的类型。不推荐对 Tuffak 聚碳酸酯使用热塑性粘合剂。

表 27.5 适合于 Tuffak 聚碳酸酯粘接的热固性粘合剂

粘合剂类型	用　途
丙烯酸	当高强度重要而外观（透明）不重要（褐色）时
聚氨酯	对标志罐珠宝修饰很有用，透明、坚韧、强度高；用于必须保证快速反应的情形
透明硅橡胶	对标志带很有用；没有聚氨酯强度高，但是对喷漆影响小；要有底漆
环氧树脂	不使用胺硬化或采用其他刚性系统时

参考文献

Tuffak Polycarbonate Sheet. Forming and Fabrication, Supplier design guide (ADV980496/APL: ATG-16S/web/6-00), Altuglas International, 2000.

拜耳：Makrolon

Makrolon 聚碳酸酯可以用很多粘合剂和自身或基底粘接，包括 Scotch-Weld2216B/A 和 3M 公司的两组分环氧基树脂粘合剂。然而，如果模塑零件承受大于 9MPa（1300psi）的压力，则基于溶剂的粘合剂对 Makrolon 聚碳酸酯有害。

当选择 Makrolon 聚碳酸酯树脂模塑零件的粘合剂时，要考虑以下几点：

- 装配零件的柔性或刚性的要求。
- 环境温度要求。
- 整体外观要求。

重力给料的粘合剂更易于操作和应用，分配粘合剂的设备花费也少。

当使用粘合剂时，零件清洁非常重要。保证粘合面没有灰尘、油脂以及其他污染物。

参考文献

Makrolon Polycarbonate—A Guide for Joining Techniques, Supplier design guide (55-A664 (10) C), Bayer, 1987.

通用塑料：Lexan

Lexan 树脂模塑零件可以和其他塑料、玻璃、金属和其他材料用不同的粘合剂粘接。一般来说，无溶剂的（100%反应的）材料得到最好的效果，例如环氧基树脂、聚氨酯以及高性能粘合剂。避免使用含有不相容成分或与聚碳酸酯不相容的固化剂的粘合剂。使用固化温度低于 121℃（250℉）的高（低）温粘合剂用于高（低）温应用。

零件在粘合剂粘合之前要进行彻底的清理。所有的油、油脂、漆皮、脱模剂、锈和氧化物都必须用相容的溶剂清洗，例如异丙醇、石油醚、65℃（149℉）沸点的庚烷、VM&P 石脑油、白煤油或肥皂的温和溶液。粘接强度可以通过其他材料所用的轻微的表面磨擦（磨

光）来提高。

环氧树脂：环氧基树脂粘合剂提供了很宽范围的抗湿性、耐化学性和耐热性。推荐参考一本提及这些性能比如剪切应力、剥离强度的手册。Lexan 树脂模塑零件可以用环氧系统粘接，系统包括室温（RT）固化剂（例如二亚乙基三胺、聚酰胺）或者上升温度硬化剂（如酸酐或者刘易斯酸）。当粘接 Lexan 树脂模塑零件和金属零件时需要考虑很多因素。室温固化会减少粘合剂中由于不同的热膨胀系数产生的应变，这种热膨胀的区别会导致粘合剂开裂，以及粘接强度的显著减小。

然而，室温固化比高温固化更趋于形成弱粘接。在使用高温粘合剂时，为了减小粘接应变，以热膨胀的观点，Lexan 树脂的等级和要粘接的金属应该紧密配合，固化温度不应超过标准 Lexan 树脂等级的热变形温度 121℃（250℉）。硫化物改性虽然使粘接强度降低还增加了气味，但可以增加弹性。这些冲击改性或弹性体改性的环氧树脂允许有非常厚的粘合层。

在热水或 250℃（121℉）以上的水蒸气环境中，一般不推荐胺固化环氧树脂或聚酰胺固化环氧树脂。酸酐固化环氧树脂通常需要高温固化。在使用环氧粘合剂之前，零件要在 250℃（121℉）空气循环炉中预干燥 2～3h 以去除残余水分。

RTV 硅树脂粘合剂：RTV 硅树脂粘合剂推荐用于需要适中的粘接强度、高使用温度和热膨胀的场合。硅橡胶树脂粘合剂可以和所有标准的 Lexan 树脂使用，包括玻璃增强等级。

为了获得最佳性能，推荐以下操作步骤：

1）用金刚砂轻轻磨擦配合表面。

2）用异丙醇清除油脂或其他杂质。

3）用制造商推荐的加工方法处理磨擦表面。

4）将硅树脂粘合剂施加到期望的厚度。最终粘接厚度为 0.13～0.76mm（0.005～0.030in），取决于接头设计。

5）装配。

聚氨酯粘合剂：推荐使用聚氨酯粘合剂来粘接 Lexan 树脂和金属、玻璃、陶瓷和其他塑料。这些双组分粘合剂可以用粘接性能来表示，它具有极好的剪切和搭接强度、高抗冲击性和良好的低温特性。然而，聚氨酯粘合剂限制使用温度在 93℃（200℉）以下。当温度高于 93℃（200℉）时，由于交联程度低，拉伸搭接剪切值会显著降低。它们在室温下承受蠕变并且随着老化会在性能上产生不期望的变化，例如，它们特别不适用于室外应用。

其他粘合剂：许多单组分粘合剂系统被推荐与 Lexan 树脂一起使用。单组分弹性体适用范围很宽，它们提供快速粘着和中等的甚至高的剪切强度。

热熔体是易于应用的组分，它固化很快，且产生良好的粘接。这些粘合剂不被推荐用于高载荷下的接头或是温度超过 193℃（200℉）的场合。然而，它们具有良好的防水特性，可能的应用是防水标签。

参考文献

Lexan Design Guide, Supplier design guide (CDC-536E), General Electric Company, 1986.

通用塑料：Lexan GR1110（特征：伽马辐射稳定）

基于对伽马辐射对粘合剂粘接强度产生的影响的研究结果，发现对 Lexan GR1110 树脂使用 UV-固化粘合剂很安全，在大剂量伽马辐射 10Mrad 之后，其粘接强度不被损坏。在所有的情况下都是基体失效，说明是材料而不是接头的破坏，因此其粘接强度要比报告的数值

大或至少相等。

参考文献

Guide to Engineering Thermoplastics for the Medical Industry, Supplier design guide (MED-114), General Electric Company.

27.12 机械连接

拜耳：Makrolon

攻螺纹和自攻螺纹：螺纹成型螺钉没有切削尖，它们将塑料螺毂里的材料排挤出以产生一条匹配的螺纹。因为这个过程产生高的径向和环向压力，避要免这些螺纹与不屈服材料一起使用，如 Makrolon 聚碳酸酯树脂或聚碳酸酯混合物。作为一种选择，这些材料可使用螺纹切削螺钉。

表 27.6 列举了一些在测试 Makrolon 3200 聚碳酸酯时螺纹切削螺钉的数据。这些数据是螺纹安装在制造商推荐的孔径中获得的。螺纹凸台外径大约是螺纹外径的两倍。

表 27.6 在测试 Makrolon 3200 聚碳酸酯时螺纹切削螺钉的数据

螺钉尺寸和类型	螺纹长度/mm (in)	孔直径/mm (in)	驱动扭矩/Nm (lb·in)	推荐夹紧力矩/Nm (lb·in)	剥离力矩/Nm (lb·in)	螺钉拔出力/N (lb)
#6, 23 型	9.5 (0.375)	3.0 (0.120)	0.9 (8)	1.6 (14)	2.8 (25)	1600 (360)
#6, 25 型	12.7 (0.500)	3.0 (0.120)	0.68 (6)	1.8 (16)	3.4 (30)	2528 (568)
#6, Hi-Lo	19.0 (0.750)	2.9 (0.115)	0.56 (5)	1.6 (14)	3.4 (30)	2973 (668)
#8, 23 型	12.7 (0.500)	3.7 (0.146)	1.0 (9)	2.4 (21)	4.3 (38)	2474 (556)
#8, 25 型	14.3 (0.562)	3.7 (0.146)	2.0 (18)	3.0 (28)	5.6 (50)	3934 (884)

参考文献

Engineering Polymers. Joining Techniques. A Design Guide, Supplier design guide (5241 (7.5M) 3/01), Bayer Corporation, 2001.

Altuglas 国际：Tuffak（形状：薄片）

机械紧固连接对高冲击场合来说是最好的。所有紧固件必须除去任何切削油，切削油在装配孔里会引起裂纹。

螺纹紧固件：螺纹紧固件可以使用提前钻好的孔，由紧固件切出自身的螺纹，也可以具有螺母，或者是双头螺栓。这个孔可以为机制螺钉预加工螺纹或者将一个螺纹嵌件压入或焊接到提前打好的孔中。自攻螺纹提前钻好的孔径应在螺纹的根径和外径之间。螺纹和嵌件，使用粗牙螺纹 Type-25。当经常拆卸时选择嵌件，可以是多线程螺纹。材料的厚度必须足够厚，以允许啮合入四条螺纹。因为高应力会导致孔的破裂，所以振动应用场合不能使用自攻螺纹。与螺纹嵌件相比，紧固件在 Tuffak 的预钻孔中固定更好些，但是接头不是那么结实，因为塑料螺纹更易受断裂和破碎并且更易产生交叉螺纹。金属嵌件接头强度最高，而压配型保持很好。膨胀型嵌件比压配型嵌件强度高。当为螺栓钻孔时，钻孔要大一些以保证足够的间隙，因为孔在热收缩下比紧固件收缩的快，配合过紧会使孔开裂。

永久紧固件：Tuffak 聚碳酸酯永久紧固件包括一些不能用在其他更脆的材料和塑料上的紧固件。这些紧固件包括铆钉、销钉、卡钉、钉子紧固件、缝合、索环和小孔。因为 Tuffak 聚碳酸酯是对缺口敏感的材料，紧固件不能有尖锐的边缘。

速度铆钉有两个可互相插在对方里的头，可以提供持久的接头。盲孔铆钉的一边必须有垫圈以防止陷进 Tuffak 聚碳酸酯的表面。铆钉应该是铝的，或者用软垫圈来保护软的 Tuffak 聚碳酸酯片材表面。如果设计合适的话，Tuffak 聚碳酸酯的卡扣连接会很好。相对于其他塑料来说，它们有很低的蠕变特性，并能长时间保持所需要的干涉。

参考文献

Tuffak Polycarbonate Sheet. Forming and Fabrication, Supplier design guide（ADV980496/APL：ATG-16S/web/6-00）, Altuglas International, 2000.

聚碳酸酯

铆接：铆接是超声波装配常用的方法。这个过程非常适用于具有相对低熔流的软材料或无定形材料。这些材料允许用机械或热加工形成铆钉的头部。如果使用高熔流材料或需要相对高振动振幅的材料，熔化流动就会加快或者不受控制，以致于材料被顶出焊接角轮廓。材料的损失将会导致铆钉头不完整。

振幅修改用于提高控制熔化流体。高振幅用于塑料熔体的最初熔化，然后在保温时减小以限制流动。

参考文献

Grewell DA, Frantz JL：Amplitude control in ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

陶氏化学：Calibre（特征：透明）

Calibre 聚碳酸酯零件适用所有机械装配方法。

铆钉：铆钉可用于 Calibre 聚碳酸酯和自身、金属或其他塑料装配。使用铝制铆钉，因为金属在载荷下会变形（这会限制在铆接过程中传递的压缩力），还因为铝的热膨胀系数和聚碳酸酯相近。对于大多数机械装配来说，推荐加入垫片以把载荷分散到更大的区域。

卡扣连接装配：Calibre 聚碳酸酯特别适合于悬臂卡扣连接，因为它一致的低模塑收缩率、高抗蠕变性以及整体尺寸的稳定性。在单次短暂的卡扣连接中，Calibre 聚碳酸酯的允许应变是 4%。如果经常装配或者经常不装配，则应变水平减小到原值的 60%，即为 2.4%。

压配装配：在设计压配装配时，要保证足够大的保持强度，以满足装配需要而不过载装配。可能产生问题的因素如下：

1）压配设计需要紧密的制造公差。

2）Calibre 聚碳酸酯的材料坚硬。

3）零件尺寸会因为蠕变和松弛而随时间改变。

在设计两坚硬材料零件的压配时，减小两零件的过盈以保持装配压力在可以接受的范围（见图 27.5）。

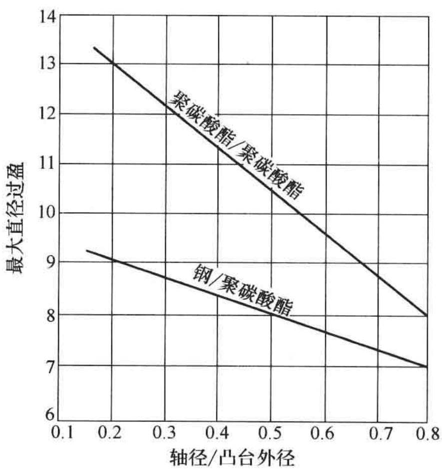


图 27.5　在 23℃（73℉）下推荐的直径过盈，Calibre 聚碳酸酯树脂中的过盈配合。

蠕变是在模塑零件尺寸中的一种变化，由冷流体在持续载荷下产生。蠕变可以使装配时满意的压配装配松弛到不能接受的程度甚至失效。对这个问题的标准解决方法是在轴上加入

凹槽，这样会降低装配应力并因而产生一定程度的蠕变。装配后，随着时间的经过塑料会冷流入凹槽中，并且保持期望的配件保持强度。

铆接：因为 Calibre 聚碳酸酯的高硬度，以及铆接过程中极高的残余应力，冷铆接一般不是可接受的装配方法。

螺纹：像金属和其他很多塑料一样，Calibre 聚碳酸酯适用于很多螺纹的装配。四种主要的方法如下：用自攻螺纹直接旋入 Calibre 聚碳酸酯零件里；旋入零件中的螺纹嵌件中；将螺钉穿过零件，用外部螺母和夹子拧紧；将螺纹成型到 Calibre 聚碳酸酯零件上。

攻螺纹和自攻螺纹：有两种类型的自攻螺纹——螺纹成型和螺纹切削。螺纹成型不推荐用于 Calibre 聚碳酸酯，因为它们在螺纹成型的过程中会在塑料中诱发很高的应力。推荐螺纹切削（如 Type-23 或 25），因为它们通过切除塑料材料形成螺纹，可以引起最小的变形和减小环向压力。应避免使用平头螺纹，因为楔入作用会造成环向应力。

如果设备要重复装配或拆卸，使用 Type-23 螺纹。如果自攻螺纹从装配件上移除，再装配时要替换上标准螺距的机加工螺纹，否则自攻螺纹会切出一条新的螺纹孔覆盖原始的螺纹，导致螺纹被剥离。这种装配方法只允许小数量装配和拆卸；反复移除和装配螺纹减小了材料的强度。对于需要频繁装配的应用来说，推荐超声波应用金属嵌件。

以下的建议可以用于对 Calibre 聚碳酸酯自攻螺纹的凸台设计（见图 27.6）：

1）入口沉孔直径应该等于螺纹大径（*D*）并且深度大约等于螺纹螺距。

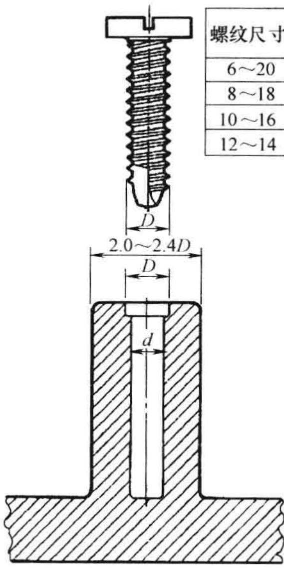
2）凸台的内径（*d*）应该等于螺纹的节圆直径。

3）凸台的外径应该是螺纹大径的 2 ~2.5 倍。

4）最小螺纹啮合应该是节圆直径的 2.5 倍。

5）凸台高度必须为螺纹提供直接、充足、持续的支撑。设计包括垫圈和/或垫片。

6）凸台中的通孔或盲孔会提供充足的熔化流体，盲孔的底部厚度应该等于额定壁厚。



螺纹尺寸	直径/in	
	d	*D*
6~20	0.115	0.138
8~18	0.140	0.164
10~16	0.158	0.190
12~14	0.182	0.216

图 27.6 Calibre 聚碳酸酯自攻螺纹凸台设计建议。

带螺母的螺钉：通过塑料零件并且被外部的螺母或夹子固定的螺钉提供了一种简单、方便的装配方法。这种方法使其可以多次再装配，并且不受施加在塑料上的扭矩的影响。这种装配方法的设计需要注意以下要点（见图 27.7）：

1）设计结合区域以消除在两塑料装配表面的空间。装配在压缩载荷而不是拉伸载荷下进行，减小了可能导致失效的拉伸压力。需要垫片

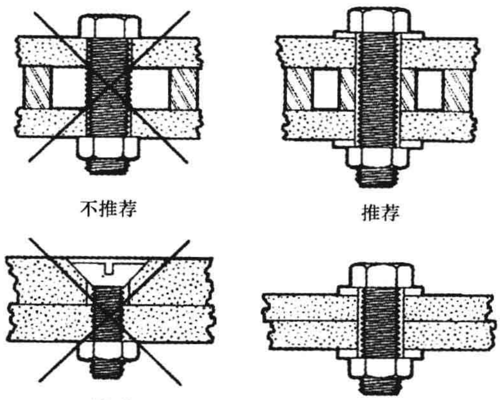


图 27.7 用于 Calibre 聚碳酸酯的螺母与螺钉的装配设计。

来完成。

2）用垫圈将扭矩载荷分散到一个更大的区域。

模内成型螺纹：大多数标准的螺纹设计都能在 Calibre 聚碳酸酯中模塑。有以下三点限制：

1）避免超细螺纹。其难以填满，通常强度不足以承受扭矩需要。

2）螺纹不能有尖角。这能形成刻痕并减小螺纹保持力的值。

3）螺纹应该通常在底部有圆角以避免应力集中。

以下的尺寸指南应该在设计模塑螺纹时有帮助（见图 27.8）：

1）避免连续的螺纹超出螺纹底部边缘。至少留 0.76mm（0.030in）的间隙。

2）最小活动螺纹长度应是螺纹节圆直径的 1.5 倍。

3）内螺纹的最小壁厚应是螺纹大径的 0.5 倍。

4）避免使用锥形管螺纹。随着螺纹锥度增加，环向压力增加。

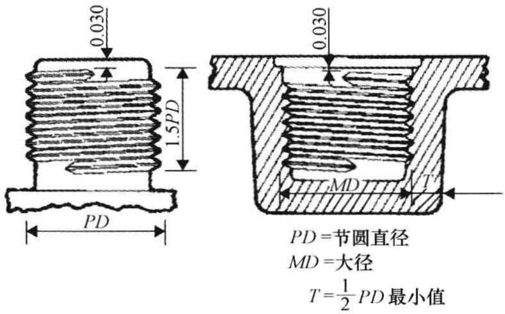


图 27.8　Calibre 聚碳酸酯，模内成型螺纹的设计建议。

螺纹嵌件：螺纹嵌件通常由不含铁的金属制成，在很多设计中应用。它们作为模塑嵌件、热/压嵌件、超声波嵌件或者膨胀嵌件嵌装在塑料零件里。将嵌件插入 Calibre 聚碳酸酯中的优先方法是超声波嵌入，因为它产生低残余应力，而且便宜。最后考虑的方法是膨胀嵌件，因为它会产生高残余应力。

对于良好的设计来说，嵌件不应有刻痕或会充当应力集中的尖角或棱。平的或光滑压花的底切会减小缺口敏感性，并提供可接受的拉脱力和扭矩水平。

参考文献

Calibre Engineering Thermoplastics Basic Design Manual, Supplier design guide (301-1040-1288), Dow Chemical Company, 1988.

拜耳：Makrolon

攻螺纹和自攻螺纹：任何零件通过自攻螺纹连接到另一个零件，必须有平齐的凸台顶部，且必须使用垫片。否则，螺纹会被拔出且会损坏切入的螺纹，甚至凸台会破裂。

关于自攻螺纹保持载荷和剥离力的数据可以在文献中找到，它们通常是不相干的。它们是从短期测试中获得的，但是没有考虑材料的长期行为和蠕变。各自的载荷都可能导致失效，大体上是由于凸台在短时间内破裂的缘故。

模内成型螺纹：统一和美国标准螺钉螺纹，注射模型应该认真判断。在拉伸应力下，螺纹形成了明显的刻痕，显著地减小了冲击强度和极限伸长率。某种程度上来说，梯形螺纹和圆螺纹更好。聚碳酸酯是较好的螺钉、螺母和螺纹孔材料，没有什么材料能承受比它更高的

载荷。螺纹可用的长度应该大于直径的1.5倍，孔周围的截面厚度应该是比直径大0.6倍。

避免毛边产生，用螺栓的肩部限制夹紧。

参考文献

Makrolon Polycarbonate Design Guide, Supplier design guide (55-A840 (10) L), Bayer, 1988.

拜耳：Makrolon

铆接：对于Makrolon聚碳酸酯来说，必须要注意减小在连接过程中产生的应力。要分散载荷，大头铆钉（杆直径的3倍）应该在铆钉向外展开的一侧与垫圈一起使用。铆钉安装工具应该校准到正确的长度以控制连接区域的压缩应力。

卡扣连接装配：卡扣连接装配一直是简单、经济和快速的结合Makrolon聚碳酸酯零件的方法。多种设计和结构都采用这种技术。Makrolon聚碳酸酯中一次卡扣连接装配的许用应力是4%。对于重复装配的情况来说，最大应变应该减到2.4%。

压配装配：压配装配很少用于Makrolon聚碳酸酯。因为这个过程包含高应力，设计时必须注意安装方式（见图27.9和图27.10）。以下是压配装配需要注意的几点：

1）保证所有的零件都是干净的，没有任何杂质。

2）如果要承受热循环，避免压配装配不相同的材料。

3）避免在苛刻的环境中使用压配装配。

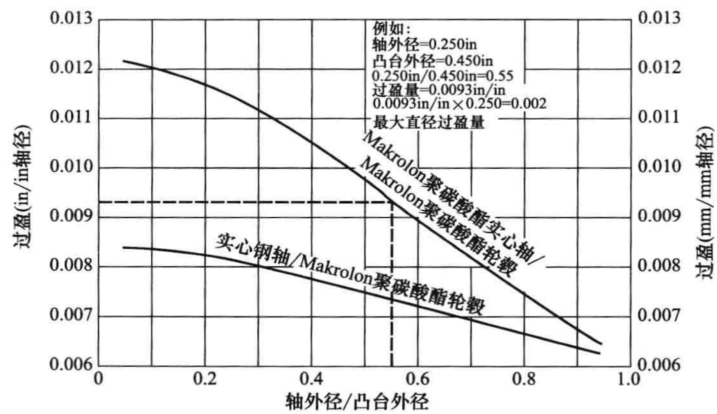


图27.9 Makrolon聚碳酸酯与钢（实心轴）压配的最大直径过盈量。

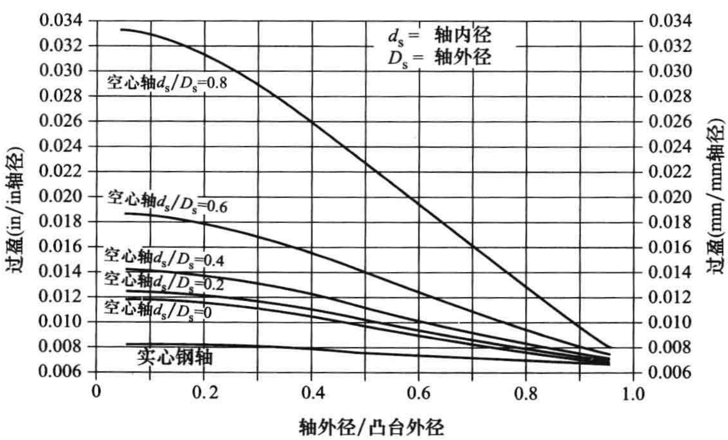


图27.10 Makrolon聚碳酸酯和钢压配连接（空心轴）的最大直径过盈量。

攻螺纹和自攻螺纹：像Type-23、Type-25和Hi-Lo（在顶部有切削刃）的螺纹切削螺纹在安装时会移除材料，以避免产生高应力。如果反复移除或重新安装螺纹切削螺纹会引起问题，因为每次重新安装，新螺纹都很容易被切断。如果需要反复装配，Type-23螺纹应该被标准机器螺纹代替以避免重新切断螺纹。Type-25螺纹不能这样做，因为它具有不标准的螺纹螺距。

对于普通螺纹紧固件来说，要避免使用平头螺纹。

要仔细设计螺纹凸台。小的凸台直径会减小下沉或空隙，但它们没有足够的结构完整性去抵抗装配环向压力。

模内成型嵌件：金属嵌件可被模塑在Makrolon聚碳酸酯中，但是这个技术会产生问题。因为Makrolon聚碳酸酯比金属的热膨胀系数高，模塑嵌件要避免用于热循环场合。热膨胀系数和金属相近的玻璃增强等级的Makrolon聚碳酸酯引起问题的可能性比较小。

超过1.5g（0.05oz）重或直径大于6.35mm（0.25in）的嵌件，应该在嵌入模具之前在177～204℃（350～400℉）的温度下预热。这样有助于减小热熔体接触冷金属嵌件时产生的热应力。

在嵌件置于模具之前，它们应该没有杂质。嵌件座应该严格检查以防止滑动，滑动会导致（昂贵的）模具破坏。

尖锐凸起物的嵌件有高的拉脱值，但是它同样也能减小冲击值，因为尖锐点会产生缺口效应。

模内成型螺纹：当不需要频繁装配时，可以使用模内成型螺纹。粗牙螺纹在Makrolon聚碳酸酯中模塑要比细牙螺纹容易。应该避免32或更小的螺纹螺距，不推荐锥形螺纹（如管螺纹），因为它们会产生过大的应力。

以下因素也应该考虑到：

1）如果配件是金属，过大的扭矩会导致零件失效。

2）应该避免毛边以防止交叉螺纹或螺纹破坏。

3）螺纹的底部和顶部应该有圆角以减小应力集中并有助于模型充填。

4）内螺纹可以由可拆的芯和拧出的芯形成，外螺纹可以由分离芯或拧出的设备形成。这些方法都会增加模型费用。

螺纹紧固件：超声波安装在Makrolon聚碳酸酯的嵌件为螺纹紧固件提供了良好的基底。只要操作适当时，就可以得到没有问题的接头。

一般来说，在凸台外径是嵌件直径的两倍时可以达到最佳嵌件性能。接收孔可以是直的或有8°的锥度，通常比一些嵌件外径小0.38～0.51mm（0.015～0.020in）。孔应该比嵌件长度深，这样嵌件不会插入到底，并且嵌件可为过量的塑料熔体提供一个井。

在安装时，嵌件的顶部应该是齐平的或者是稍稍超过凸台顶面0.01mm（0.0003in）。如果嵌件在这个表面之下，则有可能会被顶出。

参考文献

Makrolon Polycarbonate—A Guide for Joining Techniques, Supplier design guide（55-A664（10）C），Bayer，1987.

通用塑料：Lexan

铆接：当铆接Lexan树脂时需要认真考虑，以避免在大部分铆接技术中产生的高内在应

力。用带凸肩的铆钉限制了分布在零件上的应力（见图 27.11）。铝铆钉同样限制了施加的力，因为铝在高应力下会变形。

一般来说，铆钉头的直径应是柄直径的 2.5 ~ 3 倍，铆钉向外展开的一端应该有垫圈以避免产生高应力。轴周围的间隙应该达到既插入简单，又不会过大，造成结合零件滑动。

压配装配：压配嵌件可以和 Lexan 树脂一起使用，将两零件连接在一起。因为这是一个高应力连接技术，必须注意保持在蠕变极限以下，高应力使零件更容易受化学和热冲击的影响。

为了避免过应力的情况，必须注意以下预防措施：

1）设计压配小于或等于蠕变极限。

2）用光滑的、圆的嵌件，因为突起会产生潜在的应力集中。

3）避免将结合线设置在嵌入区域内。

4）去除嵌件中不相容的化学物质。

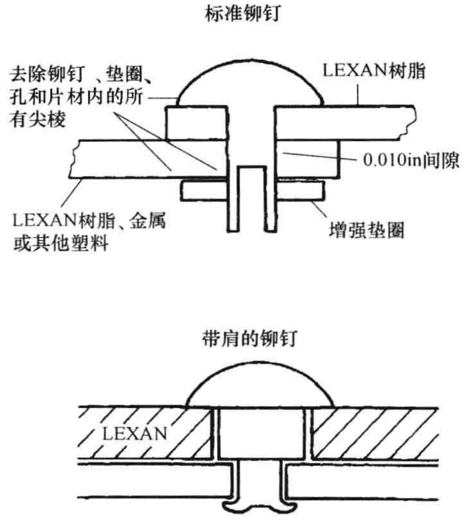


图 27.11　Lexan 聚碳酸酯的标准铆钉和带肩的铆钉设计。

操作温度的改变和不同的热膨胀系数都可以影响轴周围的压力。压配设计要适应操作条件，要考虑零件暴露的环境和潜在的条件。

铆接：在超声波铆接中，焊接角的顶部结构取决于应用、树脂等级和螺栓结构。Lexan 树脂零件的坚硬支持在铆接操作中是必要的。

螺纹：机器螺纹通常用于装配 Lexan 树脂元件。当机器螺纹与 Lexan 树脂螺纹旋合时，扭矩大小与下面因素有关：

- 螺纹头或垫圈承受力。
- 螺纹剪切应力。
- 凸台拉伸应力。

攻螺纹和自攻螺纹：螺纹切削中的自攻螺纹成形于 Lexan 树脂制造的零件中，推荐用 Type-25 或 Type-23，因为它们可以切出清晰的螺纹而且材料变形极小。应该避免使用螺纹成型螺纹，因为螺纹成型的操作会产生高应力。

一般来说，设计者应该遵守下列在设计自攻螺纹螺纹的建议：

1）接受孔的直径应该和螺纹节圆直径一样。

2）凸台外径强度应该足够大，以承受在螺纹嵌件中潜在的环向压力。通常，凸台外径是螺纹大径的两倍就足够了。

3）螺纹的长度至少是螺纹大径的两倍。

4）避免重复装配操作。

5）用最小扭矩保证螺纹装配在 Lexan 树脂的设计极限内。

在重复拆除的情况下，要避免使用自攻螺纹。除非特别注意，否则第二次嵌入会导致第二次螺纹的切削，这会大大削弱结构，将扭矩保持力减小到失效水平。如果重复拆除和嵌入不可避免，最初可以使用 Type-23 螺纹，然后用标准机器螺纹替换；在重复装配时，用标准

机器螺纹嵌件是最好的。

施加在螺纹上的扭矩大小取决于凸台的截面积和螺纹的总数量。由于可以提供足够的螺纹，允许的扭矩大部分情况下取决于凸台的截面积。

模内成型嵌件：没有增强的 Lexan 树脂不推荐使用模内成型嵌件（特别是在暴露在热循环的应用中）。玻璃增强等级的 Lexan 树脂可以和它们进行操作，因为其具有低的热膨胀系数和高的设计应力极限。虽然超声波嵌件比模内成型嵌件好，但是缺乏设备和经验导致了许多模工宁愿使用模内成型嵌件。

简单的拉出或扭矩保持凹槽与位于嵌件一面或两面的平面，都可以保证有足够的扭矩和拉脱强度。应该避免使用有凸边的嵌件，因为它们可能会在材料中产生缺口效应。因为模内成型嵌件在 Lexan 树脂中产生应力，零件应该通过在最终使用环境中测试来衡量嵌件的强度。

超声波嵌件：超声波嵌入是一种快速、经济地将金属嵌件嵌入 Lexan 树脂模塑零件的方法。这种技术提供了高度的可靠性，具有极佳的拉脱强度和扭矩保持，并且由于快速的生产周期而降低成本。如果装配设计得合理，超声波嵌入会产生比模内嵌入和压配技术更低的残余应力。这是因为在嵌件周围产生了一层薄的均匀熔体。

对于大多数应用来说，超声波能量应该通过金属嵌件传递。在嵌入过程中，由于金属和金属的接触，在焊接角上产生磨损，所以通常推荐钢焊接角。又因为钢焊接角不能承受高振幅，所以在嵌入中通常使用低振幅。在某些情况下，焊接角可以和 Lexan 树脂接触。在特殊应用下，试验可以快速决定适度的能量传输介质。在嵌入过程中，零件必须得到稳固支持。

自攻螺纹嵌件：同自攻螺纹一样，带有自切削 Type-25 螺纹的自攻螺纹嵌件推荐用于 Lexan 树脂零件。这些嵌件可以承受和外径相同的螺纹所能承受的轴向载荷，这是因为载荷是嵌件周围剪切区域的函数。一般来说，嵌件周围材料的厚度应该只是嵌件外半径的 90%。

参考文献

Lexan Design Guide, Supplier design guide (CDC-536E), General Electric Company, 1986.

第28章　聚　　酯

28.1　聚对苯二甲酸乙二醇酯

28.1.1　概论

Ticona：Impet

Impet 成型件可以根据连接形状和使用类别，通过超声波、振动、旋转或热板焊接连接起来。在热板焊接过程中，由于熔体有强烈的粘连热板的趋势，非接触式热辐射是可取的。对于原型结构来说，也可使用带焊条的热气体焊接。

参考文献

Celanex, Impet, Vandar Thermoplastic Polyesters, Supplier design guide, Ticona, 2001.

28.1.2　超声波焊接

伊士曼化工：Eastar

下面的准则用于获得最好的超声波焊接：

1）使用压紧的并且具有平的平行表面的零件。

2）低焊接压力和高的焊接时间可以得到最牢固的焊缝。保持时间对焊接强度没有显著影响。

3）在榫槽接头设计中，导能器可以通过十字形或单脊的形式得到最好的效果。

4）没有导能器的光滑和有纹理的表面，通常会得到最差的焊缝。

参考文献

Moskala EJ, Eiselstein BT, Morrow MC, Free DA: Ultrasonic welding of copolyester resins. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

杜邦：Rynite

由于高刚度的特点，玻璃增强的聚酯树脂很容易被焊接。一般来说，对这样的树脂采用阶梯形接头更加合适，这经常用于要求苛刻的场合（有时甚至在高温下）。焊接时间过长可能在超声波区域产生烧结。

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

28.1.3　热气体焊接

伊士曼化工：Spectar（特点：PETG 共聚酯；形状：薄片）

随着技术的发展，塑料片材制造商已经可以利用 Spectar 共聚脂材料的薄片焊条进行焊接，从而得到更加清晰、牢固的结合。

参考文献

Fabricating and Forming Sheet Made with Spectar Copolyester, Supplier design guide (TRS-194G), Eastman

Chemical Company, 2003.

28.1.4 激光焊接

伊士曼化工：Eastar GN007（特征：PETG 共聚酯；形状：AWS 超声波试样）

扫描激光焊接是通过一个二极管激光器实现的，具有以下参数：

波长：940nm ± 10nm。

持续的最大输出功率：300W。

光束尺寸：2.0mm × 2.0mm（0.08in × 0.08in）。

最大速度：10000mm/s（33ft/s）。

这种激光吸收器是 Clearweld 材料系统 LD130D，它是液体分流到底部零件的上表面。样品使用单束光轮廓方法和准同步方法进行焊接，从而比较焊接的强度和渗透深度。

快的焊接速度适用于轮廓焊接。单束光轮廓焊接可以比准同步焊接得到更高的强度。在评估条件下两种方法都会导致 0.63 ~ 0.67mm（0.025 ~ 0.026in）的最大渗透深度。渗透只在功率为 300W、压力为 9.1MPa（1320psi）、焊接速度低于 65.2mm/s（2.6in/s）的情况下是有害的。

参考文献

Woosman NM, Burrell MM: Evaluating quasi-simultaneous and contour welding for use with the Clearweld™ process. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

杜邦：Rynite

Rynite 对激光辐射的透明度低，因此需要更高的激光能量来得到焊缝。

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles — Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

28.1.5 溶剂焊接

伊士曼化工：Spectar（特点：PETG 共聚酯；形状：薄片）

把 Spectar 共聚脂制造的薄片用溶剂焊接到自身有很多选择，这包括商业产品如普通 MEK 和二氯甲烷的混合物。MEK 是一种快速溶剂，能快速形成凝结（在焊接接头处填满之前）。二氯甲烷是一种慢速溶剂，它能提供更多工作时间，不容易凝结。在某些场合下，50∶50 比例二氯甲烷和 MEK 的混合物用作起始点来制定一般溶剂混合物。当粘接处于湿润环境中时可以加入少量的乙酸。

一些为焊接丙烯酸树脂设计的水稀释配方如果被小心使用，也可以用于焊接由 Spectar 共聚脂制造的薄片。Weld-on 3 型和 Weld-on 4 型就是可以从 IPS 公司得到的两种方案。但是，雾化偶尔会成为一个问题。

不要对其他塑料使用稠的粘合剂，它们通常与 Spectar 共聚脂制造的薄片不相容。

参考文献

Fabricating and Forming Sheet Made with Spectar Copolyester, Supplier design guide (TRS-194G), Eastman Chemical Company, 2003.

Ticona：Impet

由于 Impet 很好的阻溶性，不推荐使用溶剂粘接。

参考文献

Celanex, *Impet*, *Vandar Thermoplastic Polyesters*, Supplier design guide, Ticona, 2001.

28.1.6 粘合剂粘接

赫斯特纤烷丝：树脂 T80

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm（0.03in），横向速度为 0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪 4000 来确定表面粗糙度。

虽然表 28.1 中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表 28.1 中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表 28.1 采用乐泰公司的粘合剂对 Hoechst Celanese 的树脂 T80 PET 与 PET 进行粘接的剪切强度

［单位：MPa（psi）］

材料成分		乐泰粘合剂					
		Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
非填充树脂	7rms	3.1 (450)	>22.1① (>3200①)	>12.4① (>1800①)	>15.2① (>2200①)	3.5 (500)	7.9 (1150)
粗加工的	31rms	1.4 (200)	6.2 (900)	4.8 (700)	6.6 (950)	3.5 (500)	7.9 (1150)
抗冲改性剂	17% Novalene 7300P	>1.7① (>250①)	>2.4① (>350①)	>1.7① (>250①)	>2.78① (>400①)	>1.0① (>150①)	>2.1① (>300①)
阻燃剂	15% PO-64P，4%氧化锑	10.7 (1550)	>14.8① (>2150①)	4.0 (600)	>15.2① (>2200①)	5.9 (850)	7.9 (1150)
润滑剂	0.2%硬脂酸锌	5.2 (750)	>12.4① (>1800①)	>12.4① (>1800①)	>15.2① (>2200①)	3.5 (500)	7.9 (1150)
内部脱模剂	0.5% Mold Wiz 33PA	5.5 (800)	>22.1① (>3200①)	>12.4① (>1800①)	>15.2① (>2200①)	3.5 (500)	11.7 (1700)

（续）

材料成分		乐泰粘合剂					
		Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/ Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
填充物	17% 3540 型玻璃纤维	5.5 (800)	20.0 (2900)	>23.1① (>3350①)	15.2 (2200)	5.5 (800)	11.7 (1700)
着色剂	0.5% 绿 99-41042	6.9 (1000)	>15.2① (>2200①)	>12.4① (>1800①)	>15.2① (>2200①)	3.5 (500)	7.9 (1150)
防静电	1% Dehydat 8312	>9.3① (>1350①)	>13.1① (>1900①)	>12.4① (>1800①)	>10.0① (>1450①)	3.5 (500)	7.9 (1150)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：Ptism 401、Super Bonder 414 瞬间粘合剂和 Flashcure 4305 光固粘合剂得到的粘合强度比聚酯基本身所测试过的许多配方都要强。乐泰 3105 是一种光固化丙烯酸粘合剂，它和环氧树脂 3631 热熔粘合剂能得到次强的粘合强度。乐泰 3340 光固化粘合剂是一种 UV 阳离子环氧树脂，它和环氧树脂 7804 热熔粘合剂可以得到较低的粘合强度。

表面处理：将 Prism Primer 770 与 Prism 401 速溶粘合剂共同使用或者将 Prism 4011 医疗器械速溶粘合剂与 Prism Primer 7701 共同使用时，对聚酯产生的全部效果无法被确定，因为大多数被评估的聚酯配方对于经处理剂处理的和未经处理的聚酯来说，产生的是基体失效。然而，Prism Primer 770 或者 7701 的使用会引起玻璃充填聚酯的粘合性在统计上显著升高，同时对阻燃聚酯的粘合性在统计上显著降低。表面粗糙化对于丙烯酸的粘合剂没有影响，而对于氰基丙烯酸盐粘合剂有着负面的影响。

其他信息：聚酯与所有乐泰粘合剂、密封剂、处理剂和催化剂都相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

伊士曼化工：Spectar（特征：PETG 共聚酯；形状：薄片）

粘合剂粘接适用于 Spectar 共聚脂薄片与其他材料（如丙烯酸或聚碳酸酯）粘合。

对于 Spectar 共聚脂薄片的自身粘合来说，可使用 IPS 公司的威得安 58、威得安 55、威得安 42，3M 的 Scotch-Weld DP-100，乐泰的 Durabond 105CL、光固化 3104、光固化 3105，

Dymax 的极端光焊接 3072 或者 Devcon 的塑料焊接Ⅱ。

对于 Spectar 共聚脂薄片与丙烯酸薄片的粘合来说，可使用 IPS 公司的威得安 42，乐泰的 Durabond 105CL、光固化 3104、光固化 3105，Dymax 的极端光焊接 3072 或者 Devcon 的塑料焊接Ⅱ。

对于 Spectar 共聚脂薄片与聚碳酸酯薄片的粘合来说，可使用 IPS 公司的威得安 58、威得安 55，乐泰的 Durabond 105CL、光固化 3104、光固 3105，Dymax 的极端光焊接 3072 或者 Devcon 的塑料焊接Ⅱ。

参考文献

Fabricating and Forming Sheet Made with Spectar Copolyester, Supplier design guide (TRS-194G), Eastman Chemical Company, 2003.

Ticona: Impet

对于粘合 Impet 来说，推荐基于环氧树脂、聚碳酸酯或硅树脂的双组分粘合剂。基于这个应用，共聚脂或热熔粘合剂也可能被使用。

参考文献

Celanex, Impet, Vandar Thermoplastic Polyesters, Supplier design guide, Ticona, 2001.

BIP 化学: Beetle

成型件可以通过粘合剂粘在一起，环氧树脂和氰基丙烯酸盐粘合剂特别有效。为了获得最佳的粘合强度，接触表面在粘合之前需要通过丙酮进行脱脂和粗糙化处理。

参考文献

Beetle & Jonylon Engineering Thermoplastics, Supplier marketing literature (BJ2/1291/SP/5), BIP Chemicals Limited, 1991.

杜邦: Rynite

零件或库存板件如 Rynite 饰板能够通过常见有效的粘合剂将彼此粘合起来。表 28.2 中列出了一系列经过测试能够成功将 Rynite 粘合在一起的粘合剂。为了得到最好的结果，在使用粘合剂之前，表面需要用溶剂（如丙酮）进行清洗。

表 28.2 Rynite 聚酯与自身进行粘接所需的推荐粘合剂

供 应 商	粘合剂序号	粘合剂类型
H. B. Huller	UR2139	聚氨酯
3M	Scotchweld 2214	环氧树脂
	Scotchweld CA-40	氰基丙烯酸盐粘合剂
乐泰	Hysol 9412	环氧树脂
	Super Bonder430, 496, 414	氰基丙烯酸盐粘合剂
Armstrong	A-12	环氧树脂
Permabond	102, 105, 747	氰基丙烯酸盐粘合剂

粘合剂粘接的众多用途之一就是将板块粘接起来为机械加工样品形成一个厚的截面。聚氨酯粘合剂已经被成功应用，生产的零件通过了苛刻的最终用途测试（如汽车发动机罩的应用）。粘合剂连接的板块在进行最终机械加工之前，应该退火、粗加工以及再退火。退火条件是在空气中以 149℃（300℉）的温度持续 1～2h。

参考文献

Rynite Design Handbook for DuPont Engineering Plastics, Supplier design guide (E-62620), DuPont Company, 1987.

28.1.7 机械连接

伊士曼化工：Spectar（特点：PETG 共聚酯；形状：薄片）

由于 Spectar 共聚脂薄片突出的韧性，它们易于机械连接。它们可使用专为塑料设计的螺纹，孔需要稍微钻大一些以满足热膨胀和收缩的要求，钻的孔需要有光滑的边缘，使用垫片以使负载更好的分布，最好是柔韧的垫片。

连接不要过紧。自攻螺纹不应用于安装大型面板。

参考文献

Fabricating and Forming Sheet Made with Spectar Copolyester, Supplier design guide (TRS-194G), Eastman Chemical Company, 2003.

杜邦：Rynite

自攻螺纹：对于 Rynite 聚酯增强树脂来说，推荐细牙螺纹的 T 形螺钉。即使是小螺距螺钉，退出螺钉会引起塑料中大多数螺纹的剪切，从而导致无法再使用相同尺寸的螺钉。如果在这类材料中需要移除或更换紧固件，推荐使用金属嵌件或使凸台直径足够大以容纳下一个更大直径的螺钉。

表 28.3 和表 28.4 给出了不同大小的 AB 型螺钉的拉脱力、剥离扭矩以及尺寸。

表 28.3　Rynite 树脂的不同螺钉尺寸的拉脱载荷性能

		螺纹号	6	7	8	10	12	14
		D_s/mm	3.6	4.0	4.3	4.9	5.6	6.5
		d_s/mm	2.6	2.9	3.1	3.4	4.1	4.7
		D_h/mm	8.9	10.0	10.8	12.2	14.0	16.2
		d_h/mm	2.9	3.3	3.5	4.1	4.7	5.5
拉脱力	Rynite 530	N	3300	4100	4400	4900	*	*
	Rynite 545	N	4300	4470	4500	5660	6020	*
	Rynite 555	N	2480	2940	2740	3780	4120	*

注：D_s为螺钉螺纹的大径；d_s为螺钉螺纹的节圆直径；D_h为凸台外直径；d_h为凸台孔径；*为螺纹下面的毂破裂。

表 28.4　Rynite 树脂的不同螺钉尺寸的剥离扭矩的性能

		螺纹号	6	7	8	10	12	14
		D_s/mm	3.6	4.0	4.3	4.9	5.6	6.5
		d_s/mm	2.6	2.9	3.1	3.4	4.1	4.7
		D_h/mm	8.9	10.0	10.8	12.2	14.0	16.2
		d_h/mm	2.9	3.3	3.5	4.1	4.7	5.5
剥离扭矩	Rynite 530	Nm	3.3	4.3	4.6	7.2	—	—
	Rynite 545	Nm	4.7	5.1	5.3	8.6	10.4	11.8
	Rynite 555	Nm	4.3	4.7	4.2	6.0①	6.6①	9.8①

注：D_s为螺钉螺纹的大径；d_s为螺钉螺纹的节圆直径；D_h为凸台外直径；d_h为凸台孔径。

① d_s增大 10% 以避免在毂的焊接线上的破裂。

卡扣连接：表 28.5 中给出了凸缘型卡扣连接的许用应变。

表 28.5 在 Rynite GR 中凸缘型卡扣连接的许用应变

材　料	许用应变（%）	
	一次性使用的（新材料）	频繁使用的
Rynite GR	1.0	0.5

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

Ticona：Impet

Impet 成型件可以彼此连接起来，或者与不同的材料运用传统方法（如铆接、法兰连接或铆接）连接起来，还可以通过超声波或加热装置在塑料中加入金属嵌件来连接。通过螺钉、卡扣连接或者压配的连接进行机械装配也是一种选择，在一些场合中可以体现出可拆卸连接的优点。用弹性夹具装配也是可行的。

参考文献

Celanex, Impet, Vandar Thermoplastic Polyesters, Supplier design guide, Ticona, 2001.

28.2 聚对苯二甲酸丁二酯

28.2.1 概论

Ticona：Celanex，Vandar

Celanex 和 Vandar 模型制品可以通过超声波、振动、旋转或热板焊接连接，取决于接头的几何形状和应用类型。在热板焊接中，由于熔体有强烈粘住热板的趋势，最好使用非接触辐射加热。对样品结构，也可采用带焊条的热气体焊接。

参考文献

Celanex, Impet, Vandar Thermoplastic Polyesters, Supplier design guide, Ticona, 2001.

Degussa AG：Vestodur

除了高频焊接以外，所有已确定的焊接技术类型都可以应用于 Vestodur。典型的应用技术就是热板焊接、超声波焊接和摩擦焊接（通过旋转或者振动）。

参考文献

Vestodur Handling and Processing, Supplier technical report (01/te/1000e), Degussa AG.

Huls AG：Vestodur

通过玻璃纤维或者微玻璃粉和/或者包含阻燃材料增强等级的 Vestodur，最适合用超声波焊接、振动焊接或旋转焊接等进行焊接。

参考文献

Huls Vestodur Polybutylene Terephthalate, Supplier technical report (42.01.003e/505.93/bu), Huls Aktiengesellschaft, 1993.

巴斯夫：Ultradur

Ultradur 可以通过热工具焊接、摩擦焊接和超声波焊接进行焊接。由于低损耗考量，不能使用高频焊接。

参考文献

Ultradur Polybutylene Terephthalate (PBT) Product Line, Properties, Processing, Supplier design guide (B 575/1e-(819) 4.91), BASF Aktiengesellschaft, 1991.

Hoechst AG：Celanex

随着增强材料、阻燃剂或其他改性剂的增加，对 Celanex 的焊接性也会产生负面的影响。有时可能通过如增加结合面积的措施来阻止潜在的质量下降。

参考文献

Celanex Polybutylene Terephthalate (PBT), Supplier design guide (BYKR 123 E 9070/014), Hoechst AG, 1990.

拜耳：Pocan B1505（特征：通用级，未填充）；**Pocan B3235**（特征：天然树脂；材料构成：30%玻璃纤维增强）；**Pocan B4235**（特征：阻燃；材料构成：30%玻璃纤维增强）

对于所使用的焊接方法来说，由于 Pocan 树脂的类型产生某些基本的不同（见表 28.6）。测试显示未增强的 Pocan 树脂成分能很容易通过热气体焊接或热工具焊接的方法实现满意的连接。玻璃纤维和阻燃剂的含量越多，熔接线就越差。

表 28.6 Bayer Pocan B 聚酯 PBT 的不同焊接技术的使用准则

	Pocan B 等级		
	1505（高粘度，无填充）	3235（30%玻璃纤维，通用级）	4235（30%玻璃纤维，UL 94 V-0）
热气体焊接	好	满意	不满意
热工具焊接	好	好	不满意
摩擦焊接	非常好	非常好	好
超声波焊接	非常好	非常好	非常好

参考文献

Pocan Thermoplastic PBT Polyester—A General Reference Manual, Supplier design guide (55-B635 (7.5) J), Mobay Corporation, 1985.

28.2.2 热工具焊接

拜耳：Pocan

Pocan PBT 热板焊接推荐的参数如下：

热板温度：280~350℃（536~662℉）。

焊接压力：0.1~1.0N/mm^2（14.5~145psi）。

参考文献

Hot Plate Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

通用塑料：Valox（形状：注射成型的饰板）

在 PBT 试样的热工具焊接中可以获得高强度。3.2 mm（0.13in）厚的试样使用的热工具温度在 290~350℃（554~662℉）范围，表现出超过 90%的相对焊接强度，其中热工具温度为 305℃（581℉）时得到的相对焊接强度最大值大约为 96%。6.1mm（0.24in）厚的试样使用的热工具温度在 305~365℃（581~689℉）范围，表现出超过 99%的相对焊接强度。材料厚度的影响有限，随着零件厚度的增加，最适宜的温度操作范围移向较高温度区。

更高的焊透深度好像能得到更好的焊接强度。加热时间的增加能降低获得高焊接强度所需要的加热工具温度。

在30%玻璃填充的材料中，大约50%的相对焊接强度可以通过3mm（0.12in）厚的试样在230~380℃（446~716℉）的大范围内获得。在6.1mm（0.24in）厚的材料中，相对焊接强度一直都比厚度较薄的试样高；已经证实了大约55%的最大焊接强度。然而，由于较薄的试样具有较高的拉伸强度，因此在较薄的试样中可以获得较高的绝对强度。

重复性研究显示了在6.1mm（0.24in）厚的试样中可以得到高的平均焊接强度；热工具温度为350℃（662℉）时可以获得的最高平均焊接强度为58.8MPa（8529psi），而热工具温度为335℃（635℉）时可以获得最高平均焊接强度为58.5MPa（8485psi），标准偏差均小于5%。如果热工具焊接要得到高强度的焊缝，就需要小心地控制尺寸和温度以及持续对热工具表面进行清理。

参考文献

Stokes VK：A phenomenological study of the hot-tool welding of thermoplastics Part 2. Unfilled. and glassfilled poly（butylene terephthalate）. *Polymer*, 41（11）, p. 4317, 2000.

通用塑料：Valox 325（形状：挤出板材）

试样是从3.0mm（0.12in）、5.8mm（0.23in）和12.0mm（0.47in）厚的挤出板材上切下来的。焊缝是在熔体和焊透深度分别为0.13mm（0.005in）和0.66mm（0.026in）、热板温度为305~320℃（581~608℉）、密封时间为10s的条件下形成的。

焊接区域是不均匀的，厚度从中心到周边逐渐增加。

参考文献

Stokes VK：Comparison of the morphologies of hot-tool and vibration welds of thermoplastics. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

通用塑料：Valox 325（形状：管材）

不同材料之间的热工具焊接中能够获得高强度。在聚碳酸酯与半结晶聚酯PBT的热工具焊接中，可以获得与PBT相同的焊接强度。不同的热工具温度的使用对在不同材料之间的焊接中获得高强度至关重要。对于聚碳酸酯来说，热工具的温度变化范围为232~316℃（450~600℉），而对于PBT来说，热工具的温度变化范围为246~316℃（475~600℉）。除了热工具的温度，焊接强度也取决于熔化的时间。最高的焊接强度在20s的熔化时间下获得。从热工具焊接中获得的非常高的焊接强度与这两种材料在振动焊接中获得的强度一致。

在聚醚酰亚胺与半结晶聚酯PBT的热工具焊接中，焊接强度等于PBT强度的90%。对于聚醚酰亚胺来说，热工具的温度变化范围为371~427℃（700~800℉），而对于PBT来说，热工具的温度变化范围为260~302℃（500~575℉）。除了热工具的温度，焊接强度也取决于熔化的时间。

参考文献

Stokes VK：Experiments on the hot tool welding of dissimilar thermoplastics. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

Hoechst Celanese：Celanex

现在热熔焊接非常适合表28.7中给出的典型焊接条件下生产的从最小到最大的成型件

的连接。Celanex 树脂的所有等级都适合使用这种技术进行连接，未填充等级的焊接强度可达树脂强度的 70% ~100% 。由于玻璃纤维与接头有限的混合，增强等级的焊接强度一般不会超过基体树脂。

表 28.7 对于 Celanex 聚酯 PBT 的典型热工具焊接条件

平台（热板）温度/℃（℉）	加热时间/s	冷却时间/s
282 ~ 338（540 ~ 640）	12 ~ 30	6 ~ 12

不能过分强调快速移动。Celanex 树脂是一种快速的结晶材料，具有相对急剧的熔化点。在接触之前，如果表面温度低于熔点，将无法得到最佳焊接强度。由于焊接强度与热板和焊缝接触时间之间的联系，需要认真考量以确保移动距离和所需时间尽可能短。保持压力将维持安全的接触，而不会引起过量的熔融树脂的流动。过大的压力将会排出熔化的材料，并且未熔化的树脂仍然处于接触状态，从而导致接头处的粘合差和形成大量的毛边。

在最适宜的条件下，大约 2/3 的熔化树脂会从接头处流走。即当塑化深度为 0. 38mm（0. 015in）时，流走的熔体厚度为 0. 25mm（0. 010in）。这会产生一个合适的熔化层以形成连接。在接头区域比较合适的保持压力为 0. 1 ~0. 24MPa（15 ~35psi）。

参考文献

Celanex Thermoplastic Polyester Properties and Processing（*CX-1A*），Supplier design guide（HCER 91-343/10M/692），Hoechst Celanese Corporation，1992.

28. 2. 3 超声波焊接

拜耳：Pocan

对于 Pocan PBT 来说，推荐的超声波焊接频率为 20kHz、振幅为 30 ~50μm。

参考文献

Ultrasonic Welding，Supplier design guide，Bayer MaterialScience AG，2007.

Hoechst Celanese：Celanex

能够成功使用超声波对 Celanex 自身进行连接。在常见的可用的超声波焊接接头中，斜面焊接接头最适用于 Celanex。为非结晶塑料开发的导能器不适合结晶材料的焊接，不被推荐。

其他适合 Celanex 的接头的设计是剪切珠和过盈接头。剪切珠通常不能得到高强度，然而当需要密封时它们是最适合的。对直径为 19. 1mm（0. 75in）、装配有一个用剪切珠接头的盖子的容器进行测试，结果显示焊接承受了 0. 69MPa（100psi）的内应力。

过盈接头成功用于有轻微翘曲的接头，这将阻止斜面焊接接头的充分接触。

基本的焊接参数如下：

1）材料需要清洗干净，并且无任何类型的模具喷涂剂。

2）在焊接前进行干燥是没有必要的，因为 Celanex 的吸水性较低。

3）振幅在 0. 05 ~ 0. 15mm（0. 002 ~ 0. 006in）范围内可以使用，在 0. 1 ~ 0. 15mm（0. 004 ~0. 006in）范围内更好。利用一个简单的升压角可以很容易办到。

4）一般适宜的压力为 0. 14 ~0. 28MPa（20 ~40psi）。对合适的接头运用最低的压力是一个合理的做法。

5）正常情况下，Celanex 的焊接时间应少于 1s。由于材料很快固化，保持时间通常非常短（在关掉声波之后固化所需要的时间），只有 0.1 ~0.2s。

根据上面提及的条件选择参数通常会得到牢固而高强度的接头。这种接头并不是玻璃增强的，因而，最终接头强度对玻璃增强的 Celanex 来说就是未填充的 Celanex 的拉伸强度。

参考文献

Celanex Thermoplastic Polyester Properties and Processing（*CX-1A*），Supplier design guide（HCER 91-343/10M/692），Hoechst Celanese Corporation，1992.

PBT

在超声波焊接中发现，不考虑振幅时，最优的能量转换发生在 300 ~500N（67 ~112lbf）的最优的焊接力处。最优的焊接力允许最快的可能的能量转换。最大的最终破坏力只在最优的焊接力的区域得到，在最适宜的焊接时间后不会继续增加焊接力。

发生器的能量和阻尼变化本身并不是工艺参数，不能用于监控焊缝质量。在焊接过程中，为了能够可靠地控制焊缝强度的质量，对焊接力大小、焊接时间、振幅与/或位移的控制就显得很有必要。

焊接时间、焊接力大小和振幅可改变半结晶 PBT 的结构。由于周围材料的低熔化温度，短的焊接时间会导致高的冷却率，这就产生了非结晶结构。更长的焊接时间和低的冷却率都会产生半结晶结构。较高的焊接力在流动中会在材料中产生一个较高的剪切力，这会产生一个垂直于负载方向的取向，并产生更低的强度特性。这个在受剪切的球粒中是可见的。在小作用力和长焊接时间的作用下可得到最均匀的结构。

参考文献

Netze C，Michaeli W：Correlation of welding parameters，energy conversion and mechanical weld seam properties for ultrasonic welding. ANTEC 1991，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Montreal，May 1991.

通用塑料：Valox 325（特征：通用等级，无填充；工艺类型：注射成型）；**Valox 420**（材料构成：30% 玻璃纤维增强；工艺类型：注射成型）

一些接头设计可以应用于超声波焊接 Valox 树脂。每一种设计都有优缺点，这些都要在成品需求中考虑到。

斜面焊接接头被专门开发用于工程热塑性材料如 Valox PBT 树脂。接头产生了极好的焊缝，这是因为产生的摩擦热在整个焊接区域表面引起了塑料的均匀熔化。它不需要熔融树脂从一个区域流到另一个区域。

在焊接 Valox 玻璃增强型树脂时，获得的强度等于未填充的 Valox 树脂的强度，因为焊接时在接头表面不会有纤维层间流动。但是，有可能在牺牲焊接时间或其他条件下获得基体树脂 100% 的强度。直径不大于 50mm（2in）的圆形工件可获得密封焊缝。

斜面焊接接头也可以很容易地成型零件，即使这些接头需要两部分的角度在 1°~1.5°的范围内吻合。最大工件公差为 ±0.25mm（0.01in），这可以得到良好的焊接性。

斜面焊接接头的优点如下：

- 斜面焊接接头可以很容易地成型到大多数工件中。
- 可以得到高强度。
- 可以得到密封焊缝。
- 不牺牲焊接时间。

• 可以在大的公差下获得良好的焊接。

斜面焊接接头的缺点如下：

• 零件/接头设计在形状上必须是圆形或椭圆形。

在一个密封的容器上使用斜面焊接接头设计进行超声波焊接的结果见表28.8。

表28.8 在Valox 325、Valox 420树脂的密封容器上使用斜面焊接接头设计进行超声波焊接的结果

材 料	焊接时间/s	保持时间/s	焊接压力/psi	电极振幅/in	斜面焊接接头/(°)	密封性	爆破压强/psi
Valox 325	1.0	0.5	60	0.00322	45	有	600
	0.5	0.5	60	0.00322	45	有	500
	0.5	0.5	90	0.00322	45	有	500
Valox 420	1.0	0.5	60	0.002	45	有	1000
	0.5	0.5	60	0.002	45	有	800
	0.5	0.2	60	0.002	45	有	800
	0.5	0.2	30	0.002	45	有	1000
	0.5	0.5	60	0.0032	45	有	1000

剪切接头将产生与100% Valox基体树脂拉伸强度相同的焊缝。这种接头在有方角或直角设计的部分可产生密封焊缝，但是焊接时间是其他设计焊接时间的两倍或三倍，需要更大量的树脂熔化。在焊接之后上表面上大量的飞边将会可见。

剪切接头的优点如下：

• 得到密封焊缝。

• 具有高焊接强度。

剪切接头的缺点如下：

• 需要焊接时间长。

• 在接头区域有可见的飞边。

与剪切接头相比，焊珠剪切接头能在隐藏飞边情况下达到更短的焊接时间。由Valox树脂成型的直角或锐角部分能够不透气地密封。然而，这种设计产生较低强度的焊缝，在需要高强度时不应使用。

一些设计零件或者修改已有零件的优化超声波焊接的方法如下：

• 需要使焊接角尽可能接近焊接区域以接触零件。

• 焊接区域和焊接角接触点应该在同一个平面内。如果由于设计因素导致不能实现，那么接头需要与平面分开，而焊头不能离开这个平面。不推荐平面偏差大于6.2mm（0.25in）的情况。

• 焊接区域应尽可能地对称。

• 壁厚应当均匀并且至少为1.5mm（0.06in）。

• 焊接区域直径不应大于63.5mm（2.5in）。

• 将突起最小化。

• 在可能的地方设计阻挡结构和飞边槽。

天然的或染色的Valox树脂拥有相同的焊接特性。如果有区别的话，也只是很小的不同，这种不同表现在颜色的改变或者在染色和天然之间的变化，应该对机器设置做最低程度

的改变。

玻璃增强型树脂系统焊接比未增强型树脂稍好，这是因为它们较高的模量和刚度的缘故。由于不会有或者很少会有纤维的相互啮合，玻璃增强型树脂获得的强度和未填充型树脂的最大强度相等。

Valox 热塑性树脂的超声波焊接可以根据以下要点实现：

• 不同等级的 Valox 树脂，未增强和增强的、天然的和染色的，可以通过超声波焊接达到基体树脂的强度。

• 当应用需要最大强度时，对所有 Valox 树脂的超声波焊接推荐斜面焊接接头或剪切型接头设计。

• 当主要要求不是强度时，可以用常见的接头设计得到可接受的焊缝。满意的焊接所需要的焊接角振幅在 0.05 ~0.15mm（0.002 ~0.006in）范围。

• 密封焊缝能够通过合理设计斜面焊接接头或剪切型接头零件和限制焊接角振幅在 0.05 ~0.15mm（0.002 ~0.006in）范围内来获得。

超声波定位焊接的特殊形式可用于粘合 Valox 树脂与其自身。焊接角端部产生超声波振动，然后经过顶部零件进入底部零件达到一个等于 1/2 顶部零件厚度的深度。当移除的熔融塑料被端部的一个径向洞成型而在表面形成一个齐整而突起的环时，能量同时释放到交界面，产生必要的摩擦热。随着底部零件渗透的形成，排出的熔化塑料流入预加热区域并且形成一个永久的分子结合。定位焊接取代了粘合剂、铆钉、卡钉和其他机械紧固件。应用于定位焊接的超声波系统可以是固定的或是便携式的。便携式的装置特别适合于庞大的零件或难以接触的接头表面。

参考文献

Valox Design Guide, Supplier design guide (VAL-50C), General Electric Company, 1986.

拜耳：Pocan B1505（特征：通用等级，未填充）；**Pocan B3235**（特征：天然树脂；材料构成：30% 玻璃纤维增强）；**Pocan B4235**（特征：阻燃；材料构成：30% 玻璃纤维增强）

超声波焊接在用于结构材料时具有很多优点，使用 Pocan 树脂进行焊接也可以得到短的焊接时间和良好的接头强度。这个过程的优点不仅仅表现在实际焊接过程中，也表现在金属嵌件的嵌入中，如螺纹凸台。超声波焊接的基本预备条件就是配合零件之间的精确适合与在没有额外机械压力时能完成焊接的能力。

导能器和压薄定位焊技术都适合于超声波焊接接头。因为 Pocan 树脂的相对窄的热塑性范围，特别推荐阶梯形接头，这样可以在很大程度上减少导能器上过多的材料。此外，当配合表面的总面积更大时，阶梯形焊接通常比对接焊接更容易得到牢固的接头。最高的强度值在一个相对较低的焊接压力和高振幅下获得。

参考文献

Pocan Thermoplastic PBT Polyester —A General Reference Manual, Supplier design guide (55-B635 (7.5) J), Mobay Corporation, 1985.

28.2.4 振动焊接

通用塑料：Valox 325（形状：3.2mm（0.13in）厚的注射成型饰板）；**Valox 310**（形状：6.1mm（0.24in）厚的注射成型饰板）

在 Valox 325 与 PC/PBT 进行焊接时效果很好，焊缝强度可达到 98% PC/PBT 强度，此

时焊接条件如下：

频率：120Hz。

振幅：3.175mm（0.125in）。

压力：0.90MPa（131psi）。

焊接深度：0.56mm（0.022in）。

焊接时间：1.7s。

然而，Valox 325不能焊接到P-PPO或者PPO/PA。

Valox 310与PEI进行焊接时效果特别好，焊缝强度可达到95% PBT强度，此时焊接条件如下：

频率：120Hz。

振幅：3.175mm（0.125Hz）。

压力：0.90MPa（131psi）。

焊接深度：0.57～1.35mm（0.022～0.053in）。

焊接时间：2.7～4.4s。

或者：

频率：400Hz。

振幅：0.635mm（0.025in）。

压力：3.45MPa（500psi）。

焊接深度：1.33mm（0.052in）。

焊接时间：4.1s。

参考文献

Stokes VK: The vibration welding of poly (butylene terephthalate) and a polycarbonate/poly (butylene terephthalate) blend to each other and to other resins and blends. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 15 (4), p. 499, 2001.

通用塑料：Valox 325（形状：挤出片材）

试样是从3.0mm（0.12in）、5.8mm（0.23in）和12.0mm（0.47in）厚的挤出片材上切下来的。焊接条件如下：

频率：120Hz。

振幅：1.59mm（0.063in）。

焊接深度为0.5mm（0.02in）。

压力：0.52～13.79MPa（75～2000psi）。

除了靠近边缘的部分，焊接区域的厚度都不均匀。焊接区域的厚度随着焊接压力的增大而减少。

参考文献

Stokes VK: Comparison of the morphologies of hot-tool and vibration welds of thermoplastics. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

通用塑料：Valox 310（特征：6.35mm（0.25in）厚；形状：注射成型板）

在合适的条件下，PBT在120Hz下的横截面厚度焊缝可以获得很好的焊接强度。在正常模式的焊缝可获得高强度的工艺条件下，横截面厚度焊缝不一定获得最高的强度。因此，低

频（120Hz）焊接的最佳焊接条件必须基于横截面厚度焊缝的数据。

当焊接频率为120Hz时，由于状态稳定可以在相当大的深度（0.36mm，即0.014in）的条件下获得良好的焊接强度，随着深度的增加，横截面厚度焊缝强度也继续增加。虽然焊缝强度随着焊接振幅和焊接压力而增大，但不能获得与PBT相等的强度，获得的最高强度是基体树脂强度的93%。在较高的压力（3.45MPa，即500psi）下，最高的焊接强度在焊接振幅最小时获得。这表示在每一个循环中，对两条单位宽的细长条进行间歇式冷却确实影响了焊接强度。振幅从两个相反的方面对焊接工艺产生影响：一方面，较大的振幅意味着较高的能量输入率和较高的薄膜温度；另一方面，对于较大的振幅来说，每个循环进行冷却的单位宽的细长条要更宽，从而导致更大的间歇式冷却。在PBT中，间歇式冷却比能量输入率的影响大，这是由于它的半晶体特性导致的结果——由于急剧的熔化点，在每个循环的间歇式冷却都会导致材料局部固化。

在较高频率（250Hz）下，在PBT中可以得到极好的横截面厚度焊缝强度，而最适宜的条件与正常模式焊缝的条件相同。

参考文献

Stokes VK：Cross-thickness vibration welding of polycarbonate，polyetherimide，poly（butylene terephthalate）and modified polyphenylene oxide. *Polymer Engineering and Science*，37（4），p. 715，April 1997.

通用塑料：PBT

PBT与自身以及其他热塑性材料进行振动焊接可获得的强度见表28.9。

表28.9 PBT聚酯与自身以及与其他热塑性材料进行振动焊接可获得的强度

材料系列	PBT			
拉伸强度②/MPa（psi）	65（9.5）			
断裂伸长率②（%）	3.5			
试样厚度/mm（in）	6.3（0.25）	6.3（0.25）	6.3（0.25）	6.3（0.25）
配合材料				
材料系列①	ABS	PC	PBT	PEI
拉伸强度②/MPa（psi）	44（6.4）	68（9.9）	65（9.5）	119（7.3）
断裂伸长率②（%）	2.2	6	3.5	6
样条厚度/mm（in）	6.3（0.25）	6.3（0.25）	6.3（0.25）	6.3（0.25）
工艺参数				
工艺类型	振动焊接			
焊接频率	120Hz			
焊接接头性能				
焊接因子（焊缝强度/较弱的基体材料强度）	0.8	1.0	0.96	0.95
断裂伸长率②（%）（额定）	1.6	1.7	3.5	4.1

① ABS为丙烯腈-丁二烯-苯乙烯；PC为聚碳酸酯；PBT为聚对苯二甲酸丁二醇酯；PEI为聚醚酰亚胺。

② 应变率为$10^{-2}s^{-1}$。

参考文献

Stokes VK：Toward a weld-strength data base for vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1995，Conference

proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

通用塑料：Valox 310（特征：6.4mm（0.25in）厚；形状：注射成型板）

在120Hz的频率下，PBT聚酯的横截面厚度振动焊接最高强度为PBT强度的93%。和PC相比，较大的振幅会导致较低的PBT焊缝强度，这可能是因为暴露在环境中的熔融部分需要更多的间歇式冷却。由于使用较小的焊接振幅，较高的焊接频率可能更适合于PBT。

参考文献

Stokes VK: The effect of fillers on the vibration welding of poly (butylene terephthalate). ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

通用塑料：Valox 310（特征：无填充）；**Valox 420**（材料构成：30%玻璃纤维增强）；**Valox 740**（材料构成：30%矿物质填充）；**Valox 744**（材料构成：10%矿物质填充）；**Valox DR51**（材料构成：15%玻璃纤维增强）

粒子和玻璃填充PBT的振动焊接过程中的现象与纯净的树脂相似，渗透时间曲线显示了纯净树脂典型的四个阶段。在保持其他参数不变的情况下，循环时间随着压力的增大而减小。

对于相同的基体树脂来说，填充物含量对稳态渗透率只有很小的影响。对于相同的填充类型来说，填充物含量对循环时间的影响也很小。但是，对于相同的填充载荷来说，玻璃填充材料的循环时间较短。

对于相同的基体树脂来说，增加的填充物降低了可得到的相对焊接强度。虽然Valox 740和Valox 420的基本强度很不相同（分别为52.7MPa（7644psi）和90.6MPa（13140psi）），但是它们最大的相对焊接强度基本相同，都为0.6。增加填充物确实可以降低焊缝的延展性，即在焊接中发生失效的相对应变减小。

一种评估填充物影响的方法就是比较最大焊接强度与基体树脂的强度。这并不容易，因为除了主要填充物外，填充材料还可能含有影响基体树脂力学性能的添加剂——而这种信息在商业材料中都不会提供。因缺乏更多的资料，可以参考直线PBT的强度。半结晶树脂的强度取决于加工条件和试样从板块上切下的位置；Valox 310的四条棒的强度为65.2MPa（9456psi）、60.1MPa（8716psi）、61.8MPa（8963psi）和58.7MPa（8513psi），平均强度为61.5MPa（8919psi）。Valox 744、Valox 740、Valox DR51和Valox 420四种填充等级分别对应的最大焊接强度为59.2MPa（8586psi）、32.5MPa（4713 psi）、59.3MPa（8600psi）和54.4MPa（7890psi）。使用PBT的平均强度61.5MPa（8919psi）作为基体树脂的强度标准，填充材料相对基体树脂的焊接强度已经给出，分别为0.96、0.53、0.96和0.88。

30%矿物质（质量分数）填充的PBT焊缝只能得到大约50%基体树脂的强度。剩余的三种矿物质填充和玻璃填充等级的相对强度比较高，大约为90%～95%。而30%玻璃（质量分数）填充的等级可以获得基体（被填充的）树脂强度的约90%。

参考文献

Stokes VK: The effect of fillers on the vibration welding of poly (butylene terephthalate). ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

28.2.5 旋转焊接

通用塑料：Valox

玻璃增强等级产生的焊缝强度接近于基体树脂最初的拉伸强度，因为它们能产生极少的

玻璃纤维的相互结合。对于密封容器来说，采用剪切接头可以得到最好的结果。这种接头可以自我定位并且推荐使用于需要高强度和密封口的时候，如用于薄壁容器。

参考文献

Valox Design Guide, Supplier design guide (VAL-50C), General Electric Company, 1986.

拜耳：Pocan B1505（特征：通用等级，未填充）；**Pocan B3235**（特征：天然树脂；材料构成：30%玻璃纤维增强）；**Pocan B4235**（特征：阻燃；材料构成：30%玻璃纤维增强）

摩擦焊接很适于Pocan树脂，玻璃增强等级材料也可以使用这种方法进行焊接。焊接表面需要合理设计，压力和转动速度相互依存，并且可以很容易根据经验决定。

参考文献

Pocan Thermoplastic PBT Polyester — A General Reference Manual, Supplier design guide (55-B635 (7.5) J), Mobay Corporation, 1985.

28.2.6 热气体焊接

通用塑料：PBT

研究结果表明将热气体焊接用于PBT聚酯无法得到令人满意的焊缝。使用热气体焊接时，焊缝冷却时出现的收缩不会像许多其他塑料焊接技术那样通过焊缝周围材料来维持焊缝处的压力而得到抵消。因此，在接头处很有可能出现缩孔和未焊透区域，如果使用单V形对接焊接，根部将会产生缺口。结果是焊接片材会出现低延展性和低强度（尽管在使用最优的焊接条件时，焊接强度的降低不会很大），特别是当冲击发生在焊接表面时，冲击性能也会降低（双V形对接焊接很大程度上改善了冲击性能）。

最适合于PBT聚酯的气体温度为340℃（644℉）。焊枪的移动速度和施加的压力由操作者决定，他应当不停调整这些参数以达到令人满意的焊缝外观。焊缝的外观可以反映它的质量，需要特别关注轮廓的光滑度和冲洗性能。在使用单V形对接焊接时，焊接强度（拉伸）与母体材料强度的比率为0.76；而使用双V形对接焊接时为0.97。

参考文献

Turner BE, Atkinson JR: Repairability of plastic automobile bumpers by hot gas welding. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

28.2.7 激光焊接

巴斯夫：Ultradur

适合于激光焊接的Ultradur元件见表28.10。

表28.10 适合于激光焊接的Ultradur元件

传输元件	吸收元件
B4300G2	B4520 sw 00110
B4300G4	B4520 sw 00110
B4300G6	B4520 sw 00110
B4300G6	B4300G6 sw 15073 Q16
B4300G10	B4520 sw 00110

（续）

传输元件	吸收元件
B4520	B4520 sw 00110
B4090G6	B4090G6 sw 15077
B4300G6 LT sw①	B4300G6 sw 15073 Q16

① 黑色传输元件。

参考文献

Transmission Laser-Welding of Thermoplastics, Technical Information (WIS 0003 e 01.2001), BASF Aktiengesellschaft, 2001.

28.2.8 红外线焊接

巴斯夫：Ultradur（材料构成：0.5% 炭黑）

红外线（IR）焊接用于结合天然色和黑色的 PBT。对天然色的 PBT，以 8.94mm（0.35in）的加热距离和 0.88MPa（128psi）的压力进行加热 29s，可以得到最高 59MPa（8557psi）的接头强度，这相当于原材料强度的 96%。对黑色的 PBT，以 75% 功率水平、15.34mm（0.604in）的加热距离和 0.44MPa（64psi）的压力进行加热 31.6s，可以得到最高 51.8MPa（7513psi）的接头强度，这相当于原材料强度的 85%。对于两种材料之间的焊接来说，有一个最适合的加热时间。对于天然色的 PBT 来说（也可能对于黑色的 PBT 来说），也有一个最合适的压力。对于黑色的 PBT 来说，在加热时间为 8、9s 时，表面温度迅速升高将达到原材料强度的 70% 的接头强度。若加热时间较长，表面温度就会由于过高而导致降解。为了增加黑色 PBT 接头强度，需要增加加热距离并降低功率，这会导致加热时间变长。因此，根据接头需要的强度，增加色料可调节循环时间。

总的来说，IR 焊接成功应用于有一定焊接强度的加热时间少于 10s 的黑色 PBT。这使得 IR 焊接成为用于焊接高温聚合物的一种极佳的方法。

参考文献

Chen YS, Benatar A: Infrared welding of polybutylene terephthalate. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

28.2.9 感应焊接

塑料：Valox 325（形状：注射成型板）

商业高频发生器（Emabond 系统 HD500）用于感应焊接。通过气缸施加的压力来控制焊接接触面的压力；通常使用 0.21MPa（30psi）和 0.41MPa（60psi）两种压力。

相对焊接强度高达 43%。需要记住的是，虽然研究关注于焊接拉伸强度，但在感应焊接中，焊接接头主要承受剪切应力。

参考文献

Stokes VK: Experiments on the induction welding of thermoplastics. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

28.2.10 溶剂焊接

Huls AG：Vestodur

PBT 具有很好的耐溶剂性，使得许多溶剂在连接 Vestodur 零件时失效。

参考文献

Huls Vestodur Polybutylene Terephthalate, Supplier technical report (42.01.003e/505.93/bu)—Huls Aktiengesellschaft, 1993.

巴斯夫：Ultradur

两种适用于焊接 PBT 的溶剂为六氟丙酮半水合物和六氟化二丙醇。但是，两者都对皮肤和眼睛有害，在使用它们时，必须遵守必要的安全预防措施，即使用通风橱、护目镜和护肤脂。

参考文献

Ultradur Polybutylene Terephthalate (PBT) Product Line, Properties, Processing, Supplier design guide (B 575/1e—(819) 4.91), BASF Aktiengesellschaft, 1991.

Hoechst AG：Celanex

由于 Celanex 具有良好的耐溶剂性，不推荐使用溶剂连接。

参考文献

Celanex Polybutylene Terephthalate (PBT), Supplier design guide (BYKR 123 E 9070/014), Hoechst AG, 1990.

28.2.11 粘合剂粘接

PBT（增强材料：30% 玻璃纤维）

针对真空等离子预处理对 PBT（30% 玻璃纤维增强）粘合剂粘接强度的影响进行了研究。采用的两种高强度环氧粘合剂是 Eccobond 2332（一种单组分粘合剂）和 Eccobond 45W1（一种双组分粘合剂）。Eccobond 2332 在 120℃（248℉）时固化需要 1h，Eccobond 45W1 与 Catalyst 15 按 1∶1 的比例混合，在室温下固化需要 24h。等离子处理样本在等离子处理后一天之内胶合在一起。

结果显示等离子预处理试样的强度是未做等离子处理试样的三倍。

参考文献

Lippens P: Vacuum plasma pretreatment enhances adhesive bonding of plastics in an environmentally friendly and cost effective way. Joining Plastics 2006, Conference proceedings, London, UK, April 2006.

通用塑料：Valox

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm（0.03in），横向速度为 0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪 4000 来确定表面粗糙度。

虽然表28.11中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表28.11中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表28.11 采用乐泰公司的粘合剂对 Valox PBT 与 PBT 进行粘接的剪切强度

[单位：MPa（psi）]

材料成分		乐泰粘合剂					
		Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/ Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
未填充的树脂，325级	4rms	0.7 (100)	1.7 (250)	>21.9① (>3150①)	1.7 (250)	0.7 (100)	1.4 (200)
325级，粗加工	60rms	3.5 (500)	6.6 (950)	10.0 (1450)	14.8 (2150)	1.4 (200)	4.1 (600)
DR51级	15%玻璃纤维增强	0.7 (100)	2.8 (400)	29.0 (4200)	3.1 (450)	0.7 (100)	1.4 (200)
420级	30%玻璃纤维增强	1.4 (200)	2.1 (300)	>28.6① (>4250①)	3.8 (550)	1.0 (150)	4.1 (600)
508级	30%玻璃纤维增强合金	3.1 (450)	14.5 (2100)	23.1 (3350)	12.4 (1800)	11.4 (1650)	8.6 (1250)
732E级	30%玻璃纤维/矿物质增强	6.6 (950)	>18.3① (>2650①)	>20.0① (>2900①)	>15.2① (>2200①)	6.6 (950)	12.1 (1750)
735级	40%玻璃纤维增强合金	6.2 (900)	>17.9① (>2600①)	>19.3① (>2800①)	>18.3① (>2650①)	2.4 (350)	5.2 (750)
830级	30%玻璃纤维增强合金	150 (1.0)	4.1 (600)	>27.9① (>4050①)	2.4 (350)	1.0 (150)	3.8 (550)
850级	15%玻璃纤维增强合金	1.4 (200)	2.8 (400)	>30.3① (>4400①)	7.6 (1100)	1.0 (150)	4.8 (700)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：Prism 401 速溶粘合剂与 Prism Primer 770 结合使用，对被评估的所有等级

的 PBT 都可得到最好的粘合强度。典型情况下，Prism 401 和 Super Bonder 414 速溶粘合剂、乐泰 3030 粘合剂、Hysol E-214HP 环氧树脂粘合剂、Hysol U-05FL 聚氨酯粘合剂和 Hysol 3631 热熔粘合剂，都可以得到最好的粘合强度；Speedbonder H4500 结构粘合剂，Hysol E-00CL、E-90FL 和 E-30CL 环氧树脂粘合剂以及 Fixmaster 高效环氧树脂和快速橡胶修复剂的粘合强度次之。Black Max 380 是一种增韧的橡胶的氰基丙烯酸盐粘合剂，而 Depend 330 是一种双组分无混合的丙烯酸的粘合剂，在 PBT 上获得最低的粘合强度。

表面处理：表面粗糙化处理、等离子处理、UV-臭氧处理和乐泰 Prism Primer 770 或者 7701 的使用，都能有效地提高 PBT 的粘合性能。

其他信息：适合于 PBT 的溶剂有六氟异丙醇、三氟乙酸、氯酚和苯酚化合物的混合物。PBT 与所有乐泰粘合剂、密封剂、处理剂和催化剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

Degussa AG：Vestodur

依靠以下方法可以通过商业粘合剂将 Vestodur 连接起来：

1）环氧化物：单组分或双组分粘合剂（间隙填充）适合于较大的粘合表面。通常在高的温度下效果最好。

2）聚氨酯：单组分或双组分粘合剂（反应的）热熔粘合剂（间隙填充，柔韧的粘合剂，通常有较长的使用期和加压时间），适合于较大的粘合表面。

3）氰基丙烯酸酯：单组分粘合剂（固化时间短），适合小的胶层和粘合表面。

通过粘合表面的预处理可以增强粘合强度。比如通过处理剂处理、火焰处理和电火花处理。

参考文献

Vestodur Handling and Processing, Supplier technical report (01/te/1000e), Degussa AG.

Hoechst Celanese：Celanex

Celanex 树脂的成型零件可以通过商业粘合剂与自身或不同的材料连接。对于 Celanex 树脂来说最常使用的粘合剂是以环氧树脂、聚氨酯或氰基丙烯酸酯为基础的粘合剂。粘合剂制造商修改了粘合剂的配方以适应更广泛的使用标准。当选择粘合剂时，不仅需要考虑力学性能，还要考虑装配暴露于的化学环境和操作温度。

当配合表面已经被砂纸打磨并用溶剂擦拭进行脱脂时，Celanex 的零件可以获得最好的粘合强度。虽然高粘度粘合剂有时要用作间隙填充物，但是好的粘合通常需要紧密配合的表面。

一组适用于 Celanex 树脂的粘合剂是基于氰基丙烯酸酯的粘合剂，这些粘合剂可以获得 2.8～3.1MPa（400～450psi）的拉伸剪切强度。它们的推荐环境包括与酒精、苯、汽油、丙烷、轻油和相似的溶剂接触，而碱性材料和稀释的酸可能会降低粘合强度。Eastman 910 在 165℃（530℉）时软化而 Permanbond 在 140℃（284℉）时软化。推荐在使用前于室温下固化 24h。

另一组适用于 Celanex 树脂的粘合剂是基于环氧树脂的粘合剂。通常使用的环氧树脂粘合剂是由 3M Co、St. Poul、Minn 制造的 Scotch-Weld 2214 和 2216。Scotch-Weld 2214 是单组分环氧树脂，它可以在 121℃（250℉）温度下经 40min 固化。Scotch-Weld 2216 是双组分环

氧树脂，它可以在室温下经24h固化。两者都能获得超过3.4MPa（500psi）的拉伸剪切强度，都能抵抗有燃料、盐雾和93℃（200℉）持续温度或121～149℃（250～300℉）短期温度的环境。

参考文献

Celanex Thermoplastic Polyester Properties and Processing（*CX-1A*），Supplier design guide（HCER 91-343/10M/692），Hoechst Celanese Corporation，1992.

巴斯夫：Ultradur

推荐的把Ultradur零件与其自身或其他材料连接在一起的粘合剂是双组分粘合剂，例如环氧树脂、聚氨酯、硅树脂和氰基丙烯酸酯。通过粗糙化粘合表面和使用溶剂（如丙酮）脱脂的方法，可以得到最高的粘合强度。

参考文献

Ultradur Polybutylene Terephthalate（*PBT*）*Product Line*，*Properties*，*Processing*，Supplier design guide（B 575/1e—（819）4.91），BASF Aktiengesellschaft，1991.

Hoechst AG：Celanex

对Celanex的粘合需要基于环氧树脂、聚氨酯或硅树脂的双组分粘合剂。根据应用场合，也可以使用氰基丙烯酸酯或热熔粘合剂。

参考文献

Celanex Polybutylene Terephthalate（*PBT*），Supplier design guide（BYKR 123 E 9070/014），Hoechst AG，1990.

通用塑料：Valox

由Valox聚对苯二甲酸丁二醇酯加工成型的零件可以通过使用商业粘合剂（见表28.12）与自身或不同的材料进行连接。由于粘合剂连接要在两种成型零件之间应用粘合剂媒介，所以最终的使用环境在选择粘合剂时就显得很重要。

表28.12 对Valox聚酯PBT树脂推荐的粘合剂

粘 合 剂	类 别	Valox	发泡的Valox	制 造 商
Scotch-Weld 2216 B/A	环氧树脂——双组分	×	×	3M公司
Scotch-Weld 2214 regular	环氧树脂——单组分	×	×	
Scotch-Weld 2214 hi-dens	环氧树脂——单组分	×	×	
Scotch-Weld 3532 B/A	聚氨酯——双组分	×	×	
Scotch-Weld 3520 B/A	环氧树脂——双组分	×	×	
Scotch-Grip 4693	弹性体——单组分		×	
Tycel 7002/7250	聚氨酯——双组分		×	Lord公司
Tyrite 7500A/7510C	聚氨酯——双组分		×	
Versiok 506 Accelerator 4	腈纶——双组分	×	×	
Versiok 510 Accelerator 4	腈纶——双组分		×	
Superbonder 414，420，422，430，495	氰基丙烯酸盐粘合剂——单组分	×	×	乐泰公司
Black Max	氰基丙烯酸盐粘合剂——单组分	×	×	
Oatey Pipe Cement	基于溶剂——单组分		×	Oatey公司
EPON 828 V-40，V25	环氧树脂——双组分	×	×	Miller-Stephenson化学
34N/62MT	聚氨酯——双组分		×	Synihetic Surfaces

操作温度、粘合形态、接头设计和拉伸与弯曲性能都必须考虑到。粘合步骤：用砂纸轻轻打磨，接下来用脱脂溶剂擦拭，使用粘合剂，保持轻微的夹持压力。

这里列出的粘合剂都显示了对试样令人满意的粘合强度。当选择一种粘合剂时需要考虑许多因素，包括粘合剂在基体上的效果（即粘合强度、兼容性）和粘合剂在最终环境中所显示的性能。在大多数情况下，不止一种粘合剂能够满足使用需要。因此，建议对所选粘合剂在实际最终使用条件下进行测试后确定其适用性。

参考文献

Valox Design Guide, Supplier design guide (VAL-50C), General Electric Company, 1986.

28.2.12 机械连接

杜邦：Crastin GR

卡扣连接：凸缘型卡扣连接的推荐许用应变见表 28.13。

表 28.13 Crastin GR 的凸缘型卡扣连接的推荐许用应变

材　料	许用应变（%）	
	一次性使用的（新材料）	频繁使用的
Crastin GR	1.2	0.6

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module I, Supplier design guide—DuPont Company, 2002.

Hoechst Celanese：Celanex

卡扣连接装配：卡扣连接装配适合于 Celanex 玻璃纤维增强树脂，但由于材料的硬度，在装配时配合零件之间的许用公差受到限制。未增强等级，Celanex 2000、2002 和 2012 最适合需要最大过盈的卡扣连接装配。

在不超过材料弹性极限的情况下进行装配时，待连接元件必须有一定的许用挠度。在卡扣连接的设计中，应当有大的圆角以便于两个配合元件的装配，并且，应该选择配合零件的尺寸以使在零件装配上之后没有持续的应力。

当 Celanex 树脂成型时，它们会固化，然后在模具中很快变硬，卡扣无法令人满意地从模具中脱离。在大多数情况下，这种包含卡扣的元件需要在成型后的操作中机加工得到。

攻螺纹和自攻螺纹螺钉：可以在 Celanex 树脂元件上车出螺纹，也可以通过常见攻螺纹工具在 Celanex 树脂元件上加工螺纹。一种特别为塑料设计的攻螺纹工具有两个凹槽和一个 6°~8°的倾斜，在切屑间隙较大时具有优势。推荐的钻孔速度是表面速度的一半。

在许多的 Celanex 树脂应用中，需要机械装配到其他元件，这就常常要用到自攻螺钉。这种连接方式仅需在 Celanex 树脂零件上钻孔或成型一个引导洞。“Swageform B”螺纹成型、Type-“BF”螺纹车削螺纹、“Plastite”螺纹成型和“Hi-Lo”螺纹成型（钝点）和螺纹车削（柄开槽）螺纹很适合与 Celanex 的机械连接。螺纹成型螺纹需要更大的剥离扭矩和拉脱强度。

驱动力矩的值说明了必要的力矩能够使螺纹插入 Celanex 树脂的引导孔中，剥离力矩的值显示了拆开 Celanex 树脂上由自攻螺钉形成的螺纹的拉紧力矩。在很多情况下，具有

大的驱动/剥离比率的低的传动扭矩是很重要的。尽管从 Celanex 树脂中获得的驱动力矩不亚于其他必要的连接热塑性材料的驱动力矩，但是 Celanex 树脂的剥离力矩值相当高，有时是其他塑料的 2～3 倍。用于紧固的自攻螺钉的扭矩（阀座扭矩）越大，两个装配元件间所需要的紧固的力也就越大。螺纹制造商通常会推荐一个阀座扭矩，它是剥离扭矩的 1/2～3/4。

在其他的一些应用中，最需要考虑的是保持强度。虽然驱动扭矩不能过大，而且驱动/剥离比率必须是合理的（大约 3：1），但是驱动扭矩和剥离扭矩是次要的。保持强度通过拉脱力（无需旋转就可以将自攻螺钉从 Celanex 树脂零件中拉脱的力）进行测量。

从振动中松开的问题很重要，独立试验显示了用自攻螺钉连接的 Celanex 树脂配合能很好地抵抗地面交通工具的军事标准中的振动。

模内成型嵌件：金属嵌件可以模塑到 Celanex 树脂中以取得良好的效果。经评估发现，若使用正确，钢、铜和铝嵌件都适用。

为了得到最优效果，需要遵守以下条件：

- 使用粗制滚花的嵌件以获得最大的保持力。滚花一直到塑料表面的下面才截止。
- 使嵌件上所有的尖角变圆角。通过滚筒抛光或喷砂处理除去滚花上的尖角。
- 嵌件需要有盲孔而不是通孔，在闭合端有大的半径或成球形。
- 嵌件的开启端需要突出在成型件的表面之上。
- 嵌件需要在室温下成型。
- 在嵌件周围的 Celanex 的壁厚应当不少于嵌件外径的一半。

模内成型螺纹：为 Celanex 树脂设计螺纹时，使用标准系统（统一的、最高级等）。然而，由于这种材料具有相对金属较低的剪切强度，在任何给定的设计中，拆开塑料螺纹所需要的扭矩较小。另一方面，许多金属螺纹通常设计值较高，远远高于实际需要的剥离扭矩。因此，通过合理的螺纹设计，Celanex 树脂元件可以被用于许多需要高的剥离扭矩的场合。

Celanex 树脂零件的内螺纹和外螺纹可以通过模塑或者模塑后处理中的机械加工得到。这种材料可以很容易地被标准金属加工工具加工，这个过程通常推荐用于螺纹直径小于 6.4mm（0.25in）的情况。在模塑后需要机械攻螺纹的中心孔应该从一个浅的扩孔开始倒角，这样可以避免当攻螺纹时孔边缘发生开裂。

使用带螺纹的中心销可以形成较大的内螺纹，既可以手动操作也可以自动操作来旋出螺纹。通过沿螺纹轴劈开或者从模具中旋出零件可以在模型中形成外螺纹。当在螺纹上不允许有分型线或轻微的飞边时，必须采用第二种方法（从模具中旋出零件）。自动化旋出操作的模具设计是可行的。

粗牙螺纹比细牙螺纹更容易成型，因此也更受欢迎。螺距小于 28 或者接近 Class 2 的螺纹不应被指定。所有类型螺纹的底部和顶部都需要 0.127～1.254mm（0.005～0.010in）的圆角以减小应力集中并提高强度，也推荐使用倒角。

螺纹嵌件：运用超声波将金属嵌件嵌入 Celanex 树脂上的钻削或成型的引导孔是可行的。嵌入操作比焊接操作的焊接角压力更大。根据零件厚度、嵌件大小等，压力在 0.14～0.35MPa（20～50psi）范围内选择。

另一方面，应保持较低的振幅，一般 0.025～0.05mm（0.001～0.002in）的振幅十分令

人满意。嵌入时间一般是0.5～2s，取决于嵌件大小，而保持时间为0.2～0.4s。Celanex树脂内部的超声波螺纹嵌件的典型强度值见表28.14。

表28.14　Celanex树脂内部的超声波螺纹嵌件的典型强度值

螺纹嵌件尺寸	拉脱强度/kg（lbs）	剥离扭矩/Nm（lbs）
8～32	45.4～68.1（100～150）	4（35）
1/4～20	227～318（500～700）	9～11.3（80～100）

参考文献

Celanex Thermoplastic Polyester Properties and Processing（*CX-1A*），Supplier design guide（HCER 91-343/10M/692），Hoechst Celanese Corporation，1992.

巴斯夫：Ultradur

Ultradur的韧性和其他力学性能决定了可以在连接时使用自攻螺钉，成型件与自身或其他材料进行螺栓连接或铆接时没有问题。由于它具有极好的柔韧性和强度，Ultradur很适用于卡扣连接和压配连接。

参考文献

Ultradur Polybutylene Terephthalate（*PBT*）*Product Line*，*Properties*，*Processing*，Supplier design guide（B 575/1e—(819) 4.91），BASF Aktiengesellschaft，1991.

Hoechst AG：Celanex

Celanex成型件，可以通过常见的方法（如铆接、法兰连接、封塞）或经过设计的用超声波或加热装置将金属螺纹嵌件嵌入到塑料中的方法，将成型件与自身或其他不同材料的产品连接起来。通过螺纹、卡扣连接或压配接头进行机械装配也是一种选择，在某些情况下具有可拆卸的优点。也可以使用弹簧夹来装配。

参考文献

Celanex Polybutylene Terephthalate（*PBT*），Supplier design guide（BYKR 123 E 9070/014），Hoechst AG，1990.

通用塑料：Valox 310-SEO（特征：阻燃材料，未填充；工艺类型：注射成型）；**Valox 325**（特征：通用等级，未填充；工艺类型：注射成型）；**Valox 420**（材料构成：30%玻璃纤维增强；工艺类型：注射成型）；**Valox 420-SEO**（材料构成：30%玻璃纤维增强；工艺类型：注射成型）；**Valox DR-48**（特征：阻燃材料；材料构成：17%玻璃纤维增强；工艺类型：注射成型）；Valox DR-51（材料构成：15%玻璃纤维增强；工艺类型：注射成型）

卡扣连接装配：一种简单、经济又快速的装配方法，卡扣连接方式可将Valox零件与金属或塑料通过一个模塑底切与位于挡块上的与之配合的凸缘相互咬合的方法装配起来。

应力与挠度方程用于确定装配力和所需刚度。任何特殊用途的最大纤维应变程度都是在可接受的永久变形基础上选择的。对Valox树脂的限制如下：Valox 420、Valox 420-SEO为2%；Valox DR-51、Valox VR-48为2.5%；Valox 325、Valox 310-SEO为6%。如果需要重复装配，应变程度应下降1%。这可以通过增加梁的长度、减少厚度或者逐渐减少厚度来实现。这种变化会影响装配所需的效果，并且应当进行复查（如果关键的话）。

压配装配：压合为部件装配提供了一种迅速、干净而经济的方法。因为配合强度取决于机械接触面，设计者可以将Valox树脂与金属或其他聚合物装配起来（见图28.1）。然而，

由于不存在物理粘接，不会产生密封口。

对于装配中长期保持力很重要的应用来说，可靠性取决于所用材料的蠕变行为。由于它突出的抗蠕变性，Valox 树脂在压配操作中表现很好。

在升高的温度下，装配强度会随着因热膨胀和弹性系数导致有效接触面的变形而改变。使用温度系数可以合理地取代过盈计算，从而决定减少的设计应力。由于也需要注意长期强度，必须考虑到 Valox 树脂的蠕变曲线的表观系数。为了保持接头强度，建议在较硬的材料中采用滚花或某些方法的混合，当材料松弛时，允许较软的材料流入凹槽。

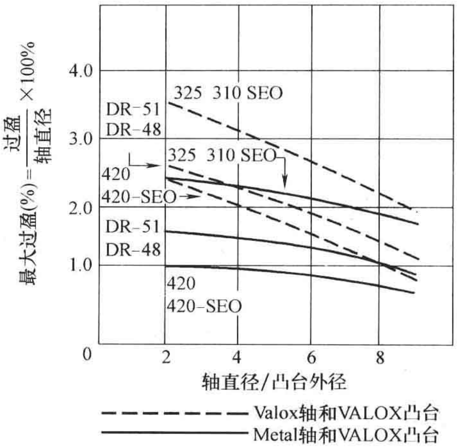


图 28.1 Valox 聚酯 PBT 和金属压合的最大直径过盈。

铆接：对 Valox 树脂使用的热铆接头的温度为 218～289℃（424～552℉），取决于铆接的尺寸和位置数量。推荐对头部进行硬化圆滑锻粗加工、电加热和温度控制。当热铆接产生均匀熔化时应使用缓慢的方法。

攻螺纹和自攻螺纹螺钉：对 Valox 树脂制造的零件使用自攻螺钉装配，会由于去除了模内成型螺纹而得到大量的节省以及装配成本的降低。推荐的凸台直径是螺纹直径的两倍。薄截面的凸台将会因为螺纹嵌入产生的应力而导致剥离扭矩和裂缝的减少。

由于剥离扭矩随着结合长度的增加而增加，建议结合长度大约是螺纹直径的 2.5 倍。引导孔应当比紧固件长度稍微深一些以防止螺纹过载。

模内成型嵌件：Valox 树脂使用模内成型嵌件的效果很好。为了使由于热膨胀产生的在金属-塑料接触面上的应力最小化，要遵守以下预防措施：

- 在设计需要时使用平滑嵌件。
- 当需要高扭矩和拉脱保持时，使用简单的拉脱和扭矩保持凹槽。
- 如果使用滚花嵌件，保持滚花尺寸最小；除去所有尖角；给嵌件隐藏端倒圆角；使滚花部位远离零件边缘。
- 除去所有不相容的化学物，如嵌件上的油。
- 采用高的模具温度 82～104℃（180～219℉）以降低热应力。
- 在嵌件的周围保留足够的材料。

需要进行模型设计，从而确定对化学物质、高温和热循环环境的适应性。

许多模内成型嵌件需要进行密封。在这样的应用中，可采用两种方法来确保密封：一种是在金属嵌件上涂覆柔韧的介质如 RTV 橡胶、聚氨酯或者改良的环氧树脂系统，这种涂层更适用于模塑较多 Valox 树脂的底切区域；第二种方法是密封模内成型嵌件，就是在嵌件末端设计一个环状空间或容器，密封介质如 RTV 橡胶、聚氨酯或者环氧树脂密封剂分布在这个区域内，从而有效地进行密封。

柔性的密封材料更适合用于补偿金属和塑料之间不同的热膨胀系数。

推荐的 Valox PBT 树脂制造的模内成型嵌件周围最小的材料厚度见表 28.15。

表 28.15 推荐的 Valox PBT 树脂制造的模内成型嵌件周围最小的材料厚度

材　　料	最小的材料厚度
铝	0.8 倍的嵌件外半径
铜	0.9 倍的嵌件外半径
钢	等于嵌件外半径

螺纹嵌件：超声波嵌入是一种快速而经济地将金属嵌件安装到 Valox 热塑性聚酯模塑零件上的方法。有一种缓慢的焊接角方法，能使焊接角产生均匀的熔化状态，适用于压力嵌入。

为了在各种应用领域中获得满意的效果，需要对后成型嵌件进行认真选择。为了得到最大的拉脱强度、保持扭矩或者两者的结合，设计了各种嵌件。水平突起、凹槽或者凹痕用于高的拉脱强度。垂直的凹槽或滚花用于高扭矩保持。

参考文献

Valox Design Guide, Supplier design guide (VAL-50C), General Electric Company, 1986.

28.3 液晶聚合物

28.3.1 热工具焊接

Ticona：Vectra

热板焊接不推荐用于 Vectra 液晶聚合物，因为材料有粘在热板上的倾向。焊接强度是母体材料强度的 12% ~15%。

参考文献

Vectra Liquid Crystal Polymer (LCP), Supplier design guide, Ticona, 2001.

28.3.2 超声波焊接

Ticona：Vectra

焊接 Vectra 液晶聚合物最重要的一点就是必须使用剪切接头。在使用超声波焊接 Vectra 液晶聚合物时，接头强度主要依赖于剪切强度——较长的剪切长度产生较高的强度。其他类型的接头设计（如导能器、斜面焊接接头和对接接头）都会产生低的强度。剪切接头对高模量材料要进行传统的设计，需要 0.2 ~0.4mm（0.008 ~0.016in）的过盈和大于 2mm（0.08in）的深度。焊接接头的强度更多地取决于接头的深度而不是过盈。

对于多数焊接应用来说，一个 20kHz 的机器应该就足够了。对于非常小的直径小于13 ~19mm（0.51 ~0.74in）的零件来说，考虑使用一个 40kHz 的机器。焊接角振幅要大，对于一个 20kHz 的机器来说，一般在 0.05 ~0.08mm（0.002 ~0.003in）范围；而对于 40kHz 的机器来说，大约是前者的一半。

期望的焊接强度取决于实际的焊接条件和所使用的 Vectra 液晶聚合物的等级。当上述准则都符合的情况下，接头剪切强度是基体材料强度的 30% ~50%。

在超声波焊接测试中，可以观察到超声波的损耗，这在使用一个硬金属材料或者一个聚酯层作为缓冲时可以避免。由于 Vectra 液晶聚合物的刚度，超声波焊接过程会比较吵，在

零件下面放一个硅橡胶层可以降低噪声。

参考文献

Vectra Liquid Crystal Polymer（*LCP*），Supplier design guide，Ticona，2001.

Hoechst AG：Vectra

使用 Vectra 的成型件可以使用超声波方法进行连接，比如超声波焊接、铆接，凸缘连接、铆接和超声波嵌入。剪切接头焊缝是最适合的设计。焊接区域的近场布置是一个优势。Vectra 可以通过常用的超声波焊接机器（20kHz，最好 40kHz）进行焊接。焊接条件（振幅、焊接时间、焊接压力等）的选择取决于 Vectra 的等级和接头的几何形状。在每种情况下都要通过实际的尝试进行焊接条件的最优化。

对高质量产品的焊接和合适接头的设计都需要特别注意，校准和接头轮廓一定要与应用精确地符合。超声波电极臂垂直放在连接区域的上方是很重要的。如果发生电极臂损耗或者在塑料零件的表面留痕的问题，通过使用硬质合金覆盖电极臂或使用 PE 薄膜夹层来进行补救。

参考文献

Vectra Polymer Materials，Supplier design guide（B 121 BR E 9102/014），Hoechst AG，1991.

28.3.3　振动焊接

Ticona：Vectra

使用振动焊接，Vectra 液晶聚合物特殊的聚合物结构会引起焊接时间随着压力降低而延长或者焊接时间随着压力升高而缩短。推荐使用低焊接压力，可以获得大约 16% 材料性能的强度。不推荐平行于流动方向的焊接。

参考文献

Vectra Liquid Crystal Polymer（*LCP*），Supplier design guide，Ticona，2001.

28.3.4　旋转焊接

Ticona：Vectra

为了使焊接线强度最大化，接头的设计很重要。通过最优的设计（见图 28.2）可以获得 50% 的材料性能的强度。

参考文献

Vectra Liquid Crystal Polymer（*LCP*），Supplier design guide，Ticona，2001.

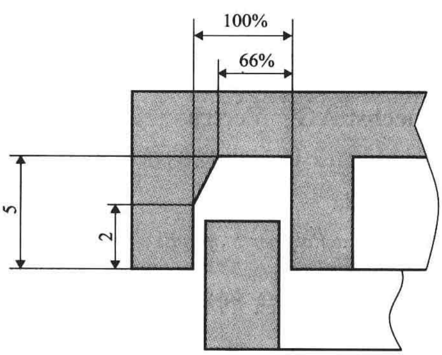


图 28.2　Vectra LCP 旋转焊接接头设计

巴斯夫：Ultrax 4002

对旋转焊接的试样进行 3.4s 的四点弯曲测试，可以收集纯净的 LCP、10% 玻璃填充的 LCP、20% 玻璃填充的 LCP 和 30% 玻璃填充的 LCP 的数据。随着玻璃纤维含量的增加，可以观察到强度也显著地增加。几乎所有情况下，结果显示最大的强度在最适合的压力和旋转速度处出现，这也经常发生在测试范围的中间区域。可以观察到随着旋转速度超过 2500r/min，强度明显下降。这是由于在

高速旋转下纤维轴在 θ 方向上的取向增加的结果。在液晶聚合物（LCPs）中加入玻璃纤维是增加焊接强度的有效方法。

参考文献

Festa D, Cakmak M: Influence of glass fibers on the spin welding of thermotropic liquid crystalline polymer. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

LCP

热塑性液晶聚合物 LCPs 在固态下表现出低摩擦系数、高熔化温度和低熔体粘度。当 LCPs 链在流动场取向时，即使在高温下，取向松弛的时间也相当长。这些特性让使用旋转焊接工艺连接这种材料成为一个挑战。

参考文献

Festa D, Cakmak M: Spin welding behavior and structure development in a thermotropic liquid crystalline polymer. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

28.3.5 激光焊接

杜邦：Zenite

Zenite 反射了大量激光的能量，因此不能使用这种方法进行焊接。

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles — Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

28.3.6 感应焊接

Ticona：Vectra

电磁焊接适合于 Vectra LCPs。由于效率的原因，较长时间的焊接可以通过一个复合焊接系统进行补偿。

参考文献

Vectra Liquid Crystal Polymer (LCP), Supplier design guide, Ticona, 2001.

28.3.7 溶剂焊接

Hoechst AG：Vectra

Vectra 具有很强的抗溶剂性，因此不使用溶剂焊接。

参考文献

Vectra Polymer Materials, Supplier design guide (B 121 BR E 9102/014), Hoechst AG, 1991.

28.3.8 粘合剂粘接

阿莫科性能产品：Xydar

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表28.16中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表28.16中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表28.16　采用乐泰公司的粘合剂对XydarLCP与LCP进行粘接的剪切强度

［单位：MPa（psi）］

材料成分		乐泰粘合剂					
		Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
G-540	40%玻璃纤维增强，58rms	3.5（500）	2.1（300）	2.8（400）	2.4（350）	3.1（450）	4.5（650）
G-540，粗加工	63rms	7.2（1050）	7.6（1100）	7.2（1050）	7.6（1100）	7.9（1150）	4.5（650）
G-930	30%玻璃纤维增强，106rms	2.4（350）	2.1（300）	3.5（500）	2.4（350）	3.5（500）	3.5（500）
G-540，粗加工	113rms	8.3（1200）	10.7（1450）	10.7（1550）	8.6（1250）	6.2（900）	3.5（500）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘接性能：Hysol E-30CL、E-20HP、E-214HP环氧树脂粘合剂和Fixmaster高效环氧树脂都能在未填充的LCP树脂上获得好的粘合强度。其他的粘合剂获得的强度会差一些。

表面处理：对所有评估的粘合剂进行表面粗糙化处理在LCP上获得的粘合强度会在统计学上显著地增加，但乐泰3105和3311光固粘合剂例外，对它们进行表面粗糙化处理没有任何显著的效果。虽然表面粗糙化处理的过程不能引起LCP表面粗糙度明显增加，但是可以除去表面层因而产生较高的粘合强度。将Prism Primer 770与Prism 401即溶粘合剂结合使用或者将Prism 4011医疗设备即溶粘合剂与Prism Primer 7701结合使用，对LCP的粘合性没

有统计学上的显著变化。

其他信息：LCP 与所有乐泰粘合剂、密封剂、处理剂和催化剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

Ticona：Vectra

可以使用现成的商业粘合剂有效连接由 Vectra LCPs 制造的零件。在多数情况下，在未改良的表面获得的粘合强度比产品装配的大。通过增加湿度的表面处理可以大大增强粘合剂的粘合强度，比如等离子处理、电晕处理、轻度砂化、喷砂处理和化学腐蚀。表 28.17 给出了等离子处理的 Vectra LCPs 的粘合搭接剪切强度。

表 28.17　等离子处理的 Vectra LCPs 的粘合搭接剪切强度

	Vectra A310/MPa		Vectra A625/MPa	
	环氧树脂	聚氨酯	环氧树脂	聚氨酯
无处理	7.2	0.9	6.5	1.3
氧等离子体	11.4	9.3	11.0	6.7
氨气等离子体	8.8	10.5	8.6	7.2

一般情况下，填充的或增强等级的 Vectra LCPs 提供的粘合强度都比无填充等级的高。

表 28.18 给出了在 22℃（72℉）、100℃（212℉）和 150℃（302℉）下，使用不同粘合剂测试获得的搭接剪切强度（ASTM D3163）。在详细说明这些或其他粘合剂之前，最终的使用者应该明确粘合剂的所有性能（即机械的、热的、电气的、化学的和其他性能）是否适合于应用环境。需要注意这些数据是为粘合剂种类提供一般的选择，而不是一个专门的推荐。

表 28.18　粘合剂粘合的 Vectra LCPs 的搭接剪切强度

测试温度/℃	粘合剂类型	搭接剪切强度范围/(N/mm^2)		搭接剪切强度平均值/(N/mm^2)	
		模塑	表面处理①	模塑	表面处理①
22	双组分环氧树脂	3.1~6.9	5.5~14.5	4.8	9.0
	单组分环氧树脂	4.1~9.0	5.5~9.7	6.2	10.7
	氰基丙烯酸盐粘合剂	2.1~4.8	3.4~6.9	3.4	5.5
	双组分丙烯酸酯	1.7~5.5	3.4~5.5	3.1	4.8
100	双组分环氧树脂	1.0.~2.1	1.0~2.8	1.4	2.1
	单组分环氧树脂	1.4~4.8	1.7~5.5	3.4	4.1
	氰基丙烯酸盐粘合剂	2.1	2.1~3.4	2.1	2.8
	双组分丙烯酸酯	0.7~1.4	1.4~2.1	1.0	1.7
150	双组分环氧树脂	0.7~1.4	0.7~1.4	0.7	1.0
	单组分环氧树脂	0.7~2.1	0.7~2.1	1.4	1.4
	氰基丙烯酸盐粘合剂	0.2~0.3	0.3~0.7	0.2	0.7
	双组分丙烯酸酯	0.3	0.7	0.3	0.7

① 轻度沙化或喷砂处理和溶剂清洗。

参考文献

Vectra Liquid Crystal Polymer (*LCP*), Supplier design guide, Ticona, 2001.

Hoechst AG: Vectra A130

用于这项研究的粘合剂包括 PLUS CP792（Permabond 公司的一种氰基丙烯酸盐粘合剂）、Araldite AW106 + HV953V hardener（Ciba Speciality Chemicals 公司的双组分环氧聚酯）和 AF163-2K（3M 公司的一种改性环氧树脂胶片）。

试验使用三种准分子激光器：XeCl（波长 308nm）、ArF（波长 193nm）和 KrF（波长 248nm）。XeCl 激光的脉冲能量是 120mJ，ArF 和 KrF 激光是 100mJ 和一个 10 ~ 15ns 的持续脉冲。光束通过一个焦距为 500mm（19.7in）的反射镜聚焦，从而在被粘物上形成一个 6mm × 3mm（0.24in × 0.12in）的矩形面积。对每一个试样处理的宽度大约是 25mm（1in）。

这项试验的结果显示 ArF 和 KrF 激光处理可以改进粘合性；ArF 激光比 KrF 激光效果更好。

激光处理的 LCP 被粘物在 70℃（158℉）和 95% RH 的环境下保持 3 周后可以获得高度保持的接头强度（73%）。

参考文献

Tavakoli SM, Riches ST: Laser surface modification of polymers to enhance adhesion. Part Ⅱ—PEEK, APC-2, LCP and PA. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

Hoechst AG: Vectra

如果采取合理的预处理操作，比如机械加工表面粗糙化处理、chromosulfuric 酸腐蚀或低压等离子处理，就可以成功进行粘合剂粘接。在表 28.19 中给出了适合粘合 Vectra LCP 的粘合剂系统。

表 28.19 适合粘合 Vectra LCP 的粘合剂系统

粘合剂系统	基 体
双组分粘合剂	环氧树脂 甲基丙烯酸酯 聚氨酯
单组分粘合剂	氰基丙烯酸盐粘合剂 热熔粘合剂

正确粘合剂的选择取决于被粘接的成型件面临的使用条件和其他各种因素。在每种情况下推荐预备的试验以及和粘合剂近距离接触。

参考文献

Vectra Polymer Materials, Supplier design guide (B 121 BR E 9102/014), Hoechst AG, 1991.

28.3.9 机械连接

Ticona: Vectra

铆接：热铆接是一种优选的方法来在 Vectra LCPs 制造的凸台或铆钉上形成一个头部。典型情况下，当使用 Vectra LCP 玻璃纤维增强型树脂的零件被模塑成型时，推荐对加热成型工具用非常硬的表面来降低磨损。加热率和温度与使用其他半结晶的或非结晶的热塑性材料相似，如聚酯、尼龙和聚碳酸酯。

冷的铆接不推荐用于 Vectra LCPs，因为树脂在没有加热、软化或者熔化时太硬且脆，无法成型。

螺钉：Vectra LCPs 可以用于生产通过螺纹连接进行结合的零件。试验用于产生设计和评估螺纹/孔尺寸比率。螺纹孔直径的设计公差必须非常小。表 28.20 给出了典型的 Vectra LCPs 螺钉尺寸。

表 28.20 典型的 Vectra LCPs 凸台尺寸

材料	螺纹类型（EJOT）	孔直径	凸台直径	螺纹深度
Vectra A130	PT	0.84d	1.9d	1.8d
Vectra E130i	PT	0.86d	1.9d	1.8d
Vectra B230	PT	0.90d	2.0d	1.9d

注：d 为螺钉名义直径。

超声波嵌件：Heli-coil 的 Ultrasert Ⅱ嵌件具有阶梯式斜肋可以不断地将新的金属表面呈现给塑料，这样在安装过程中就形成了一个连续的熔化和固化的区域，而在嵌件周围形成了一个均匀的结构。Ultrasert Ⅱ有一个特别的滚花法兰，这能够对为抵抗扭矩而完全填充凹槽的熔化塑料提供一个向下的压力。表 28.21 给出了 Vectra LCPs 的 Dodge Ultrasert Ⅱ模内成型嵌件的性能。

表 28.21 Vectra LCPs 的 Dodge Ultrasert Ⅱ模内成型嵌件的性能

螺纹尺寸	零件序号	拉伸强度/N	转动扭矩/Nm	顶出扭矩/Nm
#2-56	6035-02BR115	420.5	0.9	0.3
	6035-02BR188	987.9	1.1	0.4
#4-40	6035-04BR135	842.4	2.8	1.0
	6035-04BR219	1764.4	2.9	1.7
#6-32	6035-06BR150	1067.1	3.2	0.8
	6035-06BR250	2182.2	3.4	1.9
#8-32	6035-2BR185	1359.5	3.8	2.0
	6035-2BR312	2247.3	5.7	2.9
#10-32	6041-3BR225	1659.0	6.3	3.7
超声波嵌入条件（Branson 超声波焊接机，型号 8700）				
螺纹尺寸	升压器（Booster）	焊接时间/s	保持时间/s	空气压力/MPa
#2	黑色	0.4	0.5	0.10
#4	黑色	0.5	0.5	0.10
#6	黑色	0.6	0.5	0.14
#8	黑色	0.6	0.5	0.14
#10	黑色	0.7	1.0	0.14

参考文献

Vectra Liquid Crystal Polymer (LCP), Supplier design guide, Ticona, 2001.

Hoechst AG：Vectra

如果对 Vectra 成型件使用卡扣连接接头，必须考虑产品相对较低的可扩展性。装配中最

大的应变应限制在断裂伸长值的一半。因为这个原因，如带倒钩的卡扣连接设计作为柔韧的弹簧是一个优势，因为它们可以很容易地适应长度和厚度的变化所造成的应变。由于当装配时可能发生断裂，不推荐使用应变区域的焊接线。

参考文献

Vectra Polymer Materials, Supplier design guide (B 121 BR E 9102/014), Hoechst AG, 1991.

28.4 聚环己基己烯二亚甲基乙烯对苯二酸盐

28.4.1 溶剂焊接

伊士曼：Kodar 6763（特点：透明的）

在用于评估塑化的 PVC 管子与硬的、透明的热塑性材料的粘合性/兼容性的测试中，由 PETG 模塑的鲁尔接口比其他材料的更难进行装配，但是在有至少 50% 环己酮的地方不成立。除了丙酮，每一种溶剂都能获得异常的粘合强度。在任何溶剂或溶剂混合物中都看不到裂纹。推荐 50：50 比例的二氯甲烷与环己酮混合物或者 50：50 比例的 MEK 和环己酮混合物用于 PETG。

参考文献

Haskell A: Bondability/compatibility of plasticized PVC to rigid, transparent thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

28.5 聚萘二甲酸乙二醇酯

28.5.1 振动焊接

Shell Polyester：PEN

通过使用光学显微镜和基体的微光束的 X 射线衍射，研究工艺条件对振动焊接的注射成型的非晶质的 2.6-聚萘二甲酸乙二醇酯（PEN）在 HAZ 的结构的影响。在 HAZ 中结构渐变主要依赖于工艺条件，特别是法向力、焊接时间和焊接频率。在接口处发生明显的剪切，萘平面平行于焊接接触面，这对零件的力学性能有不利的影响。

参考文献

Cakmak M, Robinette J: Structure development at the heat affected zones of N vibration welded poly ethylene naphthalate (PEN) parts. ANTEC 1997, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Toronto, May 1997.

28.6 聚乳酸

28.6.1 热密封

Unitika：PLA teramac TF-25（形状：25μm 双向拉伸薄膜）

进行了热密封温度和保持时间对聚（乳酸）（PLA）薄膜的热密封零件力学性能的影响的研究。热密封温度变化范围是 115～155℃（239～311℉）。分别保持这个预设温度 0.1s、0.5s 和 1.0s，薄膜在 5s 内降温到室温。压力应该保持在 0.42MPa（61psi）。

以高于125℃（257℉）的热密封温度保持1.0s可以得到较高的剥离强度。在115℃（239℉）下热密封的试样显示，不论多长的保持时间，剥离强度总是低于3N/15mm。热密封温度为125℃（257℉）导致剥离强度高于3N/15mm，伴随有较小的偏差，而剥离强度通常在热密封温度高于135℃（275℉）并保持0.1s或0.5s时是恒定的。但是，试样热密封在高于135℃（275℉）的温度保持1.0s时，可以看到剥离强度有进一步增加。值得注意的是在125℃（257℉）热密封温度获得的剥离强度偏差远远小于以更高的热密封温度获得的偏差，较长的热密封时间也可以导致剥离强度产生较小的偏差。

参考文献

Hashimoto Y, Tsujii T, Kitagawa K, Kotaki M, Ishiaku US, Hamada H: Effect of heat-sealing temperature and holding time on mechanical properties at heat-sealed poly (lactic acid) films. ANTEC 2006, Confer-ence proceedings, Society of Plastics Engineers, Charlotte, May 2006.

Unitika：PLA teramac TF-25（形状：25μm双向拉伸薄膜）

这个研究中观察了热密封温度对热密封的PLA薄膜的断裂行为的影响。热密封温度为110～150℃（230～302℉），在到达最大温度之后保持0.1s。在达到最大温度之后在设定温度保持0.1s，薄膜冷却5s。在整个热密封过程中压力保持在0.3MPa（43psi）。剥离测试过程是，从热密封零件上剥开180°，十字头的速度为300mm/min，行程长度为50mm（1.97in）。

在120℃（248℉）的温度下无法得到有效的热密封。在温度高于125℃（257℉）时，可以得到高于3N/15mm的剥离强度。剥离强度在127.5～130℃（261.5～266℉）的温度范围内保持恒定，然后在高于135℃（275℉）时降低。

参考文献

Konishi R, Hashimoto Y, Hashimoto Y, Anan M, Tsujii T, Morimoto M, Kitagawa K, Ishiaku US, Kotaki M, Hamada H: Fracture behavior of heat-sealed poly (lactic acid) films. ANTEC 2006, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Charlotte, May 2006.

Unitika：PLA teramac TF-25（形状：25μm薄膜）

通过千分表选择，热密封温度在120～180℃（248～356℉）范围内变化。温度维持在预设温度0.1s，薄膜冷却5s到室温。在整个热密封过程中压力保持在0.42MPa（61psi）。

基于剥离测试、带一个圆形缺口的拉伸测试和DSC测量的结果，最合适的热密封温度在130～135℃（266～275℉）范围内，比许多常见的薄膜还要小。热密封温度需要认真选择，但是很难对现代的自动密封器进行精确的温度管理。

参考文献

Hashimoto Y, Tetsuya T, Kazuo K, Mizoguchi M, Fujita Y, Hamada H, Ishiaku US: Effect of heat-sealing temperature on mechanical properties at heat-sealed parts in biodegradable plastic film. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

第 29 章　聚醚酰亚胺

29.1　概述

通用塑料：Ultem

采用所有常用的热塑性聚合方法都可得到 Ultem 树脂注射成型部件。

参考文献

Ultem Design Guide, Supplier design guide (ULT-201G (6/90) RTB), General Electric Company, 1990.

29.2　热工具焊接

通用塑料：Ultem 1000（形状：注射成型饰板）

在这些试验中，运用限位器控制熔融阶段的流出物，通过加热时间控制熔膜的厚度，也可以使用位移限位器控制最终连接阶段的流出物。

在研究焊接工艺参数范围的过程中，采用 0.66mm（0.026in）的焊缝渗透深度和 0mm 的熔体渗入深度，在厚度为 3.2mm（0.126in）的材料中得到的最高焊接强度为基体材料强度的 84%。

对于厚度为 6.2mm（0.244in）的材料来说，最高焊接强度大小为母体材料的 85%，并且在焊缝渗透深度为 0.91mm（0.036in）的条件下才能达到此强度。对此焊缝熔深值，在热工具温度为 395 ~ 440℃（743 ~ 824℉），熔融时间和固化时间分别为 20s 和 10s，熔体渗入深度为 0.13mm（0.005in）的条件下，即可达到相对焊接强度范围在 80% ~ 85% 的最高焊接强度。

虽然热工具焊接能够产生强固的焊缝，但这需要精确的尺寸、精确的热工具温度控制以及热工具表面的连续清洗。

参考文献

Stokes VK: A phenomenological study of the hot-tool welding of thermoplastics. Part 3: polyetherimide. *Polymer*, 42 (2), p. 775, 2001.

通用塑料：Ultem 1000（形状：注射成型平板）

在不同的材料之间的热工具焊接缝可以达到很高的强度。在聚醚酰亚胺和半晶质聚对苯二酸丁二酯的热工具焊接中，可获得的焊缝强度为聚对苯二酸丁二酯强度的 90%。在不同材料之间的焊接中，使用不同的热工具温度对获得高强度的焊缝及其重要。对于聚醚酰亚胺来说，热工具温度在 371 ~ 427℃（700 ~ 800℉）范围内变化；对于聚对苯二酸丁二酯来说，热工具温度在 260 ~ 302℃（500 ~ 575℉）范围内变化。除了热工具温度外，焊缝强度也取决于熔化时间。

虽然两种不可混合的、非晶态聚碳酸酯和聚醚酰亚胺各自拥有 150℃（302℉）和 215℃（419℉）的玻璃态转变温度，但是得到的焊缝强度可与聚碳酸酯的强度相媲美。

对于聚醚酰亚胺来说，热工具的温度在 371 ~ 399℃（700 ~ 750℉）范围内可获得较高

的相对强度。当热工具温度为427℃（800℉）时，聚醚酰亚胺的相对强度呈现出无规律的变化。这可能是由于在这么高的温度下，聚醚酰亚胺的降解和热工具表面的沉淀物影响到了熔融塑化层的洁净度的缘故。

参考文献

Stokes VK：Experiments on the hot tool welding of dissimilar thermoplastics. ANTEC 1993，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，New Orleans，May 1993.

29.3 超声波焊接

通用塑料：聚醚酰亚胺

在设计超声波焊接 Ultem 树脂制品时，最重要的因素是接头设计。对接头区域有三个主要要求如下：

1）一个小的原始接触区域（一个点或一条线），即导能器。

2）均匀接触。

3）对齐方式。

为得到最好的结果，建议注意以下几点：

- 考虑熔融材料的流动。
- 接头应尽可能放置在超声波的电极点附近。
- 提供一个合适的电极接触区域。
- 平衡接头要素数值的恰当配比，以避免接头过紧和接合表面过大。
- 考虑接头周围的微小尺寸变化。
- 采用刚性定位或底部部件嵌套以保证焊缝牢固。

Ultem 树脂的焊接性取决于单位面积上振动能量的集中度。由于比绝大多数热塑性塑料具有更高的熔点，因此 Ultem 树脂在接头处的流动需要更多的能量。因而，用于焊接 Ultem 聚醚酰亚胺树脂制品的导能器应当相当高，最小高度为0.5mm（0.020in），宽度为0.65mm（0.025in）。表29.1给出了聚醚酰亚胺树脂的典型超声波焊接参数。

表29.1 Ultem 聚醚酰亚胺树脂的典型超声波焊接参数

控制项	设定值
声波时间/s	0.5～1.5
延迟时间/s	0.2～0.6
振幅/刻度盘示值	6～7
保压时间/s	0.5～2.0
管线压力/psi	30～60
管线压力/MPa	0.2～0.4

参考文献

Ultem Design Guide，Supplier design guide（ULT-201G（6/90）RTB），General Electric Company，1990.

29.4 振动焊接

通用塑料：Ultem 1000（形状：厚度为6.1mm（0.24in）的注射成型平板）

聚醚酰亚胺与聚对苯二甲酸丁二酯焊接相容性非常好，以下焊接条件下所获得的焊缝强度约为苯二甲酸丁二酯强度的95%：

频率：120Hz。

振幅：3.175mm（0.125in）。

压力：0.90MPa（130psi）。

焊透深度：0.57～1.35mm（0.022～0.053in）。

焊接时间：2.7～4.4s。

或者：

频率：400Hz。

振幅：0.635mm（0.025in）。

压力：3.45MPa（500psi）。

焊透深度：1.33mm（0.052in）。

焊接时间：4.1s。

聚醚酰亚胺与聚对苯二甲酸丁二醇酯HV7065的焊接相容性也非常好，聚对苯二甲酸丁二醇酯HV7065是一种含约65%矿物填料的聚酯混合物。在以下焊接条件下其焊缝强度约为聚对苯二甲酸丁二醇酯（HV7065）强度的92%：

焊接频率：120Hz。

焊接振幅：3.175mm（0.125in）。

焊接压力：3.45MPa（500psi）。

焊透深度：0.54～1.30mm（0.021～0.051in）。

焊接时间：1.0～2.1s。

参考文献

Stokes VK: The vibration welding of poly-(butylene terephthalate) and a polycarbonate/poly (butylene terephthalate) blend to each other and to other resins and blends. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 15 (4), p. 499, 2001.

通用塑料：Ultem 2300（特征：厚度为6.35mm（0.25in）；形状：注射成型平板；增强材料：30%玻璃纤维）

焊接频率分别为120Hz、250Hz和400Hz时得到的最大焊接强度分别为72.3MPa、78.8MPa和74.2MPa（10500psi、11400psi和10800psi）。对于平均拉伸强度为124.35MPa（18035psi）的玻璃填充树脂来说，在上述三种情况下，焊接强度分别相当于其相对焊接强度的58%、63%和60%。在高频率及高焊接压力的条件下，可获得最佳的焊接强度。在目前已研究的各种焊接工艺条件中，最佳条件如下：

频率：250Hz。

振幅：0.889mm（0.035in）。

焊接压力：3.45MPa（500psi）。

在这些条件下，其焊接强度约为79MPa（11500psi），且失效应变约为1.3%。

参考文献

Stokes VK：Vibration weld strength data for glass-filled polyetherimide. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 15（4）, p. 1763, 2001.

通用塑料：Ultem 1000（特征：厚度为6.35mm（0.25in）；加工方式：注射成型；形状：注射成型平板）

当焊接频率为120Hz时，截面厚度的焊接强度随着焊接振幅及焊接压力的增大而增大，且临界焊深阀值比这种材料采用普通焊接获得的数值更大。渗透深度为0.5mm（0.02in）的焊接强度比渗透深度为0.3mm（0.012in）的焊接强度要高很多，因此临界焊深阀值在0.3～0.5mm的范围内。虽然焊接强度和失效应变都随焊接压力的增大而增大，但频率为120Hz时得到的最大强度比聚醚酰亚胺在普通焊接时所得到的强度要小。

当频率增高到250Hz时，聚醚酰亚胺可达到最优的截面厚度焊接强度，并且该最佳条件对于普通焊接来说是相同的。

参考文献

Stokes VK：Cross-thickness vibration welding of polycarbonate, polyetherimide, poly（butylene terephthalate）and modified polyphenylene oxide. *Polymer Engineering and Science*, 37（4）, p. 715, April 1997.

通用塑料：Ultem 1000（特征：厚度为6.4mm（0.252in）；加工方式：注射成型；形状：注射成型平板）

此项研究表明，在适当条件下，聚碳酸酯与聚醚酰亚胺的振动焊接接头可获得非常高的强度和延展性。这些接头可达到两种材料中相对较弱的聚碳酸酯的强度。

然而，与纯树脂获得高强度的条件不同，它不仅取决于渗透时间曲线。对于纯树脂来说，一旦渗透率达到稳态，就可以获得很高的强度，因而渗透时间曲线可用于确定最优选的焊接条件。另一方面，由于熔化温度和粘度的不同，聚碳酸酯与聚醚酰亚胺的焊缝所显示的渗透时间曲线是虚假的。该过程取决于聚碳酸酯的高熔化率和流动率，尽管聚醚酰亚胺仍在熔化和流动的情况被其外在表现的达到稳态所掩盖。因此，即使渗透深度降至稳态范围内，焊接强度仍会随着渗透深度继续增大。基于上述原因，确定聚碳酸酯与聚醚酰亚胺焊接的优选条件需要其他信息。

扫描电子显微镜的研究已经表明粘合强度在焊接初期的主要机理是焊接界面处由两熔融聚合物的剪切混合产生的机械联锁。工艺条件影响了该混合和联锁发生区域的厚度和结构。

聚碳酸酯与聚醚酰亚胺之间焊缝的断裂面很有趣，高强度的焊缝在断裂界面的两面都产生了很深的沟嵴。沟嵴深度及强度随焊接压力的增大而增大。低频焊缝和高频焊缝之间有明显的区别。在频率为120Hz时，沟嵴与振动方向相垂直。虽然名义上平行，但这些沟嵴呈现波浪形结构。另一方面，在频率为250Hz和400Hz时，沟嵴与振动方向平行。这种沟嵴结构也更平行且得以明确界定。在高频率（低振幅）焊缝中出现的易于明确界定的沟嵴很可能是由流动的不稳定性引起的。

参考文献

Stokes VK, Hobbs SY：Strength and bonding mechanisms in vibration-welded polycarbonate to polyetherimide joints. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

通用塑料：Ultem

聚醚酰亚胺与自身及其他热塑性塑料间的振动焊接可达到的强度见表29.2。

表29.2　聚醚酰亚胺与自身及其他热塑性塑料间的振动焊接可达到的强度

材料系列	聚醚酰亚胺				
抗拉强度[②]/MPa（ksi）	119（17.3）				
拉断伸长率[②]（%）	6				
试样厚度/mm（in）	6.3（0.25）				
配合材料					
材料系列[①]	ABS	改性聚苯醚	聚碳酸酯	PBT	聚醚酰亚胺
抗拉强度[②]/MPa（ksi）	44（6.4）	45.5（6.6）	68（9.9）	65（9.5）	119（17.3）
拉断伸长率[②]（%）	2.2	2.5	6	3.5	6
试样厚度/mm（in）	6.3（0.25）	6.3（0.25）	6.3（0.25）	6.3（0.25）	6.3（0.25）
工艺参数					
工艺类型	振动焊接				
焊接频率	120Hz	120Hz	120Hz	120Hz	250～400Hz
焊接接头性能					
焊接因子（焊接强度/较弱的初始材料强度）	0.65	0	0.95	0.95	1.0[③]
（名义上）拉断伸长率（%）	1.14		2.75	4.1	6

① ABS为丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚合物；M-PPO为改性聚苯醚；PC为聚碳酸酯；PBT为聚对苯二甲酸丁二醇酯；PEI为聚醚酰亚胺。

② 应变率为$10^{-2}s^{-1}$。

③ 只有通过高频率焊接才能达到高强度。

参考文献

Stokes VK: Toward a weld-strength data base for vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

29.5　电阻植入焊

通用塑料：Ultem 1000（形状：层压板；增强材料：玻璃纤维、碳纤维）

采用玻璃纤维增强聚醚酰亚胺（GF-PEI）夹层在加热元件和碳纤维增强聚醚酰亚胺（CF-PEI）层压板之间形成足够的电气绝缘，消除了层压板上的电流泄露。在位于焊缝长度大约25%渗透区域的邻近范围内，传热的不均匀性产生了高温梯度。采用基于分解温度和玻璃态转变温度之间振幅的简易标准，便可推算出焊缝的最大长度为370mm（14.6in）。由玻璃纤维强化聚醚酰亚胺（GF-PEI）或玻璃纤维/碳纤维强化聚醚酰亚胺（GF/CF-PEI）层压板制造的宽幅搭接剪切试样可用单向加热元件成功焊接。所得的搭接剪切强度值超出了碳纤维强化聚醚酰亚胺（CF-PEI）层压板的压缩模塑标准。同时，用于双悬臂梁试样电阻焊接的层间断裂韧性分别相当于含有单层纤维层和纤维夹层的碳纤维强化聚醚酰亚胺双悬臂梁试样层压板的压缩模塑基线的85%和90%。

参考文献

Ye L, Ageorges C: Large scale resistance welding of thermoplastic composites: feasibility and limitations. Composites from fundamentals to exploitation. 9th European Conference (ECCM), Brighton, UK, June 2000.

29.6 溶剂焊接

通用塑料：Ultem

溶剂焊接是连接聚醚酰亚胺树脂制品的几种选择之一。当溶剂蒸发后，该工艺的最终结果达到无中间材料遗留的真正的树脂与树脂间的焊接。由聚醚酰亚胺树脂成型的粘接制品建议溶剂中使用二氯甲烷或聚醚酰亚胺树脂的1%～5%混合液。

参考文献

Ultem Design Guide, Supplier design guide (ULT-201G (6/90) RTB), General Electric Company, 1990.

通用塑料：Ultem 1000（特征：通用级）

图29.1提供了一个极具代表性的将聚醚酰亚胺树脂与柔韧的聚氯乙烯（PVC）粘接的接合强度样本。溶剂中的环己酮在接头失效前能承受最大的载荷。

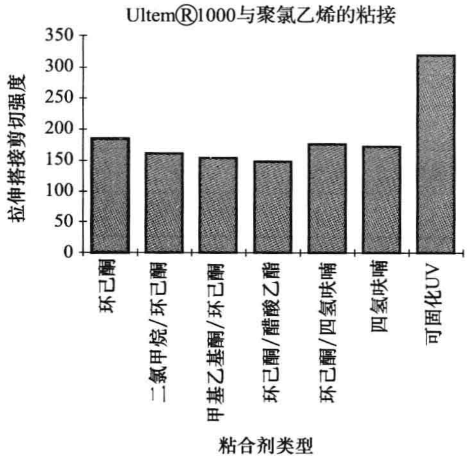


图29.1 Ultem 1000与阿尔法化学聚氯乙烯2235L85柔韧的聚氯乙烯的粘合剂和溶剂的粘合强度（溶剂：$MeCl_2$二氯甲烷；MEK甲基乙基酮；cyclo环己酮；THF四氢呋喃。注意溶剂中组合的比例是50：50）

参考文献

Guide to Engineering Thermoplastics for the Medical Industry, Supplier design guide (MED-114), General Electric Company.

29.7 粘合剂粘接

通用塑料：Ultem

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表29.3中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表29.3中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表29.3　采用乐泰公司的粘合剂对Ultem聚醚酰亚胺与聚醚酰亚胺进行粘接的剪切强度

[单位：MPa（psi）]

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
无填充树脂，1010级 3rms	1.0 (150)	9.3 (1350)	2.1 (300)	7.6 (1100)	3.5 (500)	15.5 (2250)
1010级，粗加工 47rms	7.2 (1050)	16.9 (2450)	13.8 (2000)	13.8 (2000)	5.5 (800)	15.5 (2250)
2100级 10%玻璃纤维增强	2.4 (350)	7.2 (1050)	3.5 (500)	6.2 (900)	4.8 (700)	12.1 (1750)
2400级 40%玻璃纤维增强	7.9 (1150)	6.9 (1000)	5.9 (850)	14.8 (2150)	11.7 (1700)	9.0 (1300)
3453级 45%玻璃/二氧化硅增强	9.0 (1300)	11.4 (1650)	9.3 (1350)	13.8 (2000)	10.3 (1500)	10.3 (1500)
4001级 非增强型，有润滑剂	1.0 (150)	4.5 (650)	2.1 (300)	4.8 (700)	3.8 (550)	>12.4① (>1800①)
CRS5001级 非增强型，耐化学级	3.1 (450)	9.7 (1400)	1.4 (200)	7.2 (1050)	4.8 (700)	10.7 (1550)
7801级 25%碳纤维增强	6.6 (950)	8.6 (1250)	9.3 (1350)	12.8 (1850)	5.2 (750)	9.7 (1400)
LTX100A级 PEI/PC混合物注射成型等级	5.2 (750)	9.7 (1400)	4.5 (650)	7.6 (1100)	5.5 (800)	24.5 (3550)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘接性能：Flashcure 4305 光固化粘合剂在聚醚酰亚胺上达到最高的粘合强度，甚至与使基底失效时的强度相媲美。Prism 401、Prism 4011 医疗器械和超级粘合 414 瞬间粘合剂、光固化丙烯酸粘合剂乐泰 3105、Hysol E-90FL 和 E-30CL 环氧基树脂粘合剂、Hysol 3631 热熔化粘合剂和 Fixmaster 高性能环氧基树脂通常在预估的不同级别的聚醚酰亚胺上达到最高粘合强度。然而，不同等级的粘合剂性能不同。乐泰 3340 光固化粘合剂通常在聚醚酰亚胺上达到最低粘合强度。

表面处理：表面粗加工会引起聚醚酰亚胺的粘合强度明显提高。将 Prism Primer 770 和 Prism 401 瞬间粘合剂共同使用，或者将 Prism 4011 医疗器械瞬间粘合剂和 Prism Primer 7701 共同使用，会导致最高评估等级的聚醚酰亚胺的粘合强度显著降低。

其他信息：与聚醚酰亚胺配合使用效果较好的溶剂有二氯甲烷和 N-甲基吡咯烷酮。对于无填充聚醚酰亚胺来说，有必要采用促进剂来加速氰基丙烯酸酯的凝结。某些牌号的聚醚酰亚胺与氰基丙烯酸酯粘合剂不相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

通用塑料：Ultem

聚醚酰亚胺树脂部件可相互粘合到一起，也可使用多种商用粘合剂与不同的材料粘合起来。由于粘合剂包含两部件间化学性质不同的物质的应用，在选择粘合剂时，粘合单元的最终应用环境是很重要的。必须要考虑到操作温度、环境及要求的性能。简单的溶剂擦拭就能产生好的粘合作用，但是有时需用电晕放电、火焰处理或铬酸进行表面激活。

参考文献

Ultem Design Guide, Supplier design guide (ULT-201G (6/90) RTB), General Electric Company, 1990.

通用塑料：Ultem 1000（特征：通用级）

图 29. 1 提供了通用级为 1000 的聚醚酰亚胺树脂与柔性聚氯乙烯（PVC）粘合可达到的粘合强度的代表性样本。用于聚醚酰亚胺和聚氯乙烯化合物的 UV 光固化粘合剂能产生最高粘合强度。然而，如果将 UV 光固化粘合剂用于聚醚酰亚胺树脂，紫外线将不通过聚醚酰亚胺树脂，而沿与其粘合的材料传递。

参考文献

Guide to Engineering Thermoplastics for the Medical Industry, Supplier design guide (MED-114), General Electric Company.

29. 8 机械连接

通用塑料：Ultem 1000（特征：天然树脂，透明，琥珀色）；**Ultem 2100**（特征：阻燃剂；材料成分：10% 玻璃纤维增强；工艺类型：注射成型）；**Ultem 2200**（特征：阻燃剂；材料成分：20% 玻璃纤维增强；工艺类型：注射成型）；**Ultem 2300**（特征：阻燃剂；材料成分：30% 玻璃纤维增强；工艺类型：注射成型）

卡扣装配：聚醚酰亚胺树脂的韧性和强度使其适于卡扣装配。

当设计伸缩指状物时，应变不要超出表 29. 4 的推荐值。应使用操作应变时的割线模量来计算悬臂梁的力或应力。

表29.4　不同级别的 Ultem 聚醚酰亚胺卡扣装配设计的推荐许用应变

Ultem 树脂级别	许用应变（%）	许用应变下的割线模量
1000	5.25	1860MPa
2100	2.5	3789MPa
2200	1.5	拉伸模量
2300	1.5	拉伸模量

铆接：超声铆接是一个将聚醚酰亚胺树脂熔融成型用于机械紧固另一个组装部件的过程。向那个部件的孔内嵌入已经模塑成塑料部件螺柱的聚醚酰亚胺树脂。使用电极臂并配以高振幅和相对较小的接触区域即可把螺栓表面振动成不同相。在连续轻微压力的作用下，振动促使塑料的连续熔化，并将螺柱再成型为探头形状。电极臂的探头形状主要取决于其用途、树脂级别和螺柱设计。对大部分应用领域来说，标准的或轮廓矮的铆接接头都是很适合的。虽然轮廓矮的接头与标准接头相比具有外观上的优势，但后者的强度是前者的三倍。在铆接操作期间需要有聚醚酰亚胺树脂部件的刚性支承。

攻螺纹和自攻螺纹螺钉：聚醚酰亚胺树脂组件适用于自攻螺纹螺钉。当被打入模塑部件时，自攻螺纹螺钉成型或切削，因而无需模内成型螺纹或再次攻螺纹。有两种普通自攻螺纹螺钉——螺纹切削螺钉和螺纹成型螺钉，这两种螺钉的优缺点主要取决于特定的应用领域。由于无需排出过多的材料，螺纹切削螺钉的凸台应力较低；而切削塑料会产生较低的驱动力矩、剥离力矩和拔出强度。螺纹成型螺钉能产生很高的凸台应力，但是也会产生很高的驱动力矩、剥离力矩和拔出强度。推荐的螺钉类型最好由样机试验来决定。

模内成型嵌件：模内成型螺纹嵌件可与所有牌号的聚醚酰亚胺树脂一起使用。以下建议可保证产生最大强度：

- 在设计允许处使用平滑的嵌件。
- 当需要高的力矩和拔出保持力时，使用简单的拔出力和力矩保持凹槽。
- 若使用滚花嵌件，需将滚花尺寸降至最小。

使成型温度较高，以降低嵌入件周围的热应力。

- 嵌入件应具有足够的材料来保持高强度（见表29.5）。

表29.5　Ultem 聚醚酰亚胺树脂模内成型嵌件的壁厚与外径（OD）比值

嵌件材料	壁厚与外径比值
钢铁	1.0
黄铜	0.9
铝	0.8

建议使用装配测试来判定它们在实际最终使用环境中的适用性。

模内成型螺纹：聚醚酰亚胺树脂越来越被用于模内成型的内螺纹和外螺纹。高模量、高强度、高摩擦系数及低应力松弛等独特性能的结合产生了较高的每轮力矩值、高断裂力矩和低力矩松弛。聚醚酰亚胺树脂部件通常使用的螺纹形式包括所有的直螺纹标准（如 UNC 和 UNF）以及所有的锥螺纹标准（如 NPT 和 NPTF）。用刚性脱螺纹型芯产生的螺纹可能会具有更高的精确度。必须测试使用的所有密封剂与聚醚酰亚胺树脂级别的相容度，以确定应力与密封胶的结合在低于期望强度下是否会引起失效。

超声波嵌件：超声波嵌入是金属嵌入件中推荐使用的快速且经济的锚固方法。这种技术提供了高度的机械可靠性和杰出的拔出力和力矩保持性能。此外，在恰当的设计情况下，由于保证了均匀熔化和最小的热收缩量，和其他嵌入方法相比，超声波嵌入件产生的残余应力较低。

参考文献

Ultem Design Guide, Supplier design guide (ULT-201G (6/90) RTB), General Electric Company, 1990.

第30章 聚 乙 烯

30.1 聚乙烯概述

30.1.1 简述

巴斯夫股份公司：Lupolen

Lupolen 高密度聚乙烯 PE-HD 和中密度聚乙烯 PE-MD 吹塑品可通过热量和压力粘合起来。它们也可以通过注射成型、挤出成型或热成型方法粘合起来。已生产出的不同部件所用的材料大体上应有相同的熔融粘度，即基于熔融指数获得。

参考文献

Lupolen Polyethylene and Novolen Polypropylene Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 579 e/4. 92), BASF Aktiengesellschaft, 1992.

巴斯夫股份公司：Lupolen

通过热量和压力也可将 Lupolen 和 Lucalen 成型制品与薄膜焊接在一起。可采用的焊接方式有振动焊接、超声波焊接、摩擦焊接、热气体焊及热板焊接。

塑料薄膜的热密封可采用撕缝密封、热接触及热脉冲技术。控制接缝质量的主要因素是温度、压力和时间。

参考文献

Lupolen, *Lucalen Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 581 e/(8127) 10. 91), BASF Aktiengesellschaft, 1991.

聚乙烯

超声波焊接、感应焊接和红外线加热焊接是无菌食品密封包装的最佳选择。CO_2和 YAG（钇铝石榴石）激光器可以将聚醚酰亚胺片材快速熔融，但不能缩短足够的周期来证明它们较高的价格是值得的。超声密封可提供一个较短的周期（小于 0. 5s）和一致的密封质量，并且剥离强度受卡纸断裂所限制。在包装材料的超声密封期间，经常会发生铝箔中断，还需要额外的工作来判断铝箔中断对食品完整性的影响。感应密封也可提供一个少于 0. 5s 的周期并伴随一致的卡纸断裂。由于保持压力较低，铝箔仍保持完整。红外线密封周期较长，这是因为它包含两个步骤。在最佳的密封条件下，铝箔保持完整。红外线密封更适合连续密封。

参考文献

Yeh HJ, Benatar A: Methods for sealing of aseptic food packages. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

30.1.2 热工具焊接

聚乙烯（形状：管材）

甲烷和其他碳氢化合物可渗入聚乙烯中。然而，通过管壁的扩散率极小，所以不会产生

大量的气体流失，而且也没有公共或操作的安全问题。

北方各州电力是一家为明尼苏达州中部提供燃气和电力的公司，它雇用的专业员工偶尔能注意到管道热熔连接区域的异常。在加热阶段后期，熔合阶段之前，在这个区域中由于熔合面产生气泡，加热面看起来不均匀。在热熔连接结束后，焊珠中能看到气泡。

美国煤气研究所的一项调查显示，聚乙烯燃气输送管道可以吸收高级烃，比如丙烷，然后在热熔连接处的加热阶段将它们释放出来。调查也显示，这些“起泡”接头的强度比一般接头的强度低得多，这取决于当前吸收材料的量。

为避免熔合质量的退化，推荐聚乙烯中丙烷的浓度不超过0.2%。

参考文献

Pimputkar SM, Belew B, Mamoun MM, Stets JA: Strength of fusion joints made from polyethylene pipe exposed to heavy hydrocarbons. Plastics Piping Systems for Gas Distribution, Conference proceedings, October 1997.

30.1.3 超声波焊接

巴斯夫股份公司：Lupolen

聚乙烯的超声波焊接界定在近场范围内。

参考文献

Lupolen Polyethylene and Novolen Polypropylene Product Line, Properties, Processing, Supplier design guide (B 579 e/4.92), BASF Aktiengesellschaft, 1992.

杜邦加拿大分公司：Zemid（应用：寒冷天气；特征：均匀；填料：矿物质）

由Zemid制成的零件可以进行超声波焊接，并能达到很高的粘合强度。实验室测试表明，在以下条件下粘合强度可以超过剪切强度。

振幅	20kHz条件下为0.08mm（0.003in）
时间	0.4s
能量	300J（220ft · lbf）
压力	0.14MPa（20 psi）

参考文献

Zemid Product Information Guide, Supplier marketing literature (H-07490), DuPont Canada, 1990.

聚乙烯［特征：厚度为5.8mm（0.23in）］

大部分烯烃类纤维、梭织物和非织物都具有很好的超声波焊接特性。

参考文献

Ultrasonic Sealing and Slitting of Synthetic Fabrics, Supplier technical report, Sonic & Materials, Inc.

30.1.4 旋转焊接

聚乙烯（试样形状：管材）

这项研究描述了用于安装管道而新开发的一种旋转焊接方法：将一个短管道插入放置在两个长管道之间，然后，旋转短管。

在温度分别设定为−5℃、23℃和40℃（−23℉、73℉和104℉）时，采用三家专业聚乙烯管道制造商生产的材料进行焊接测试。依照日本工业标准，对日本燃气协会规定的类别进行典型的机械测试。

结果显示，即使焊接环境温度和材料生产商提供的管道有所差异，在其他条件相同的情况下焊接仍是可行的。此外，焊接区域性能看起来达到了标准要求且绰绰有余。旋转焊接获得的长期稳定性相似于或更优于通过传统热熔合焊接获得的焊接性。

参考文献

Takasu N: Friction welding of plastics. *Welding International*, 17 (11), p. 856, 2003.

聚乙烯（形状：管材）

这项研究详细阐述了摩擦焊接参数对聚醚酰亚胺管道接头的影响。结果显示初始力矩、稳定力矩和总损失会伴随着摩擦压力的增加而增加。旋转侧和固定侧的施压长度比例的变化主要取决于摩擦焊接条件，产生优良焊接性的这些条件比用于碳钢的范围更狭窄。而且，在聚乙烯摩擦焊接期间，由于絮状和液化聚乙烯的分散及烟气和臭味的生成，工作环境会大大受损。

参考文献

Hasegawa M, Asada T, Ozawa Y: Study of friction welding of polyethylene. *Welding International*, 16 (7), p. 537, 2002.

聚乙烯［形状：管材，外径为60mm（2.36in）］

正在进行一项涉及摩擦焊接条件对聚乙烯燃气供应管道焊接接头的连接现象和拉伸强度的影响的调查。所要研究的旋转焊接参数如下：

摩擦压力：0.4MPa（58psi）；

摩擦时间：10s；

施压压力：0.4MPa（58psi）；

施压时间：60s；

旋转速度：$20 \sim 50s^{-1}$。

试验结果显示摩擦压力强烈地影响着初始力矩和总损失，摩擦压力增加时初始力矩和总损失会急剧增加。聚乙烯管道摩擦焊接产生的初始力矩和施压压力要比金属摩擦焊接产生的低。摩擦压力强烈影响管道内部和外部的毛边尺寸，并且毛边尺寸（毛边的宽度和高度）会随摩擦压力的增加而急剧增加。摩擦压力和旋转速度强烈影响摩擦焊接头的外观。摩擦焊接头的拉伸强度与聚乙烯基管的相当，然而拉断伸长率要比聚乙烯基管稍微低。

参考文献

Hasegawa M, Asada T, Ozawa Y, Taki N: Study of friction welding of polyethylene pipes. *Welding International*, 12 (9), p. 682, 1998.

30.1.5 射频焊接

巴斯夫股份公司：Lupolen

对聚乙烯来说高频焊接技术是不适用的，因为不允许将聚乙烯加热到所需温度。这是因为高频场中的能量需求是由介电常数、耗散因数和角正切决定的，而且这对于聚乙烯来说很低。

参考文献

Lupolen Polyethylene and Novolen Polypropylene Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 579 e/4.92), BASF Aktiengesellschaft, 1992.

30.1.6 激光焊接

聚乙烯

在表30.1中给出了聚乙烯激光焊接条件及焊接处拉伸特性概述。低功耗CO_2激光能够在高速度（50m/min，即165ft/min）下以搭接形式和切割/密封形式焊接薄塑料板（<0.2mm，即0.008in）。此种激光应用包含高速封装，其中非接触的、灵活的计算机控制系统相对于超声波、电介质和热密封技术具有优势。对短波具有低吸收能力的钕钇石榴石激光具有对搭接接头和对接接头厚度范围为0.2~2.0mm的塑料进行焊接的潜力。其优点包括低扭曲和低总热量耗费。应对塑料材料熔融的区别和钕钇石榴石激光的着色效予以注意，并应对其进行进一步试验。

表30.1 聚乙烯激光焊接条件及焊接处拉伸特性概述

材料			激光条件			拉伸特性	
类型	厚度/mm	接头类型	类型	功率/W	速度/(m/min)	占母体材料比率（%）	失效形式
聚乙烯	0.1	搭接	CO_2	100	16.5	>100	母体材料
聚乙烯	0.1	搭接	CO_2	200	36		
聚乙烯	0.1	搭接	CO_2	300	50		
聚乙烯	0.1	切割/密封	CO_2	100	5.7	94	焊缝
聚乙烯	0.5	搭接	Nd：YAG	80	0.1	68	焊缝

参考文献

Jones IA, Taylor NS: High speed welding of plastics using lasers. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

30.1.7 红外线焊接

聚乙烯

研究评估了石英卤素灯（最大输出量在0.89μm）照射在包含不同等级炭黑的聚乙烯上产生的红外线能量的热特性。

这项研究显示了在聚合物配方中，吸收率对炭黑含量是很敏感的。在炭黑含量非常低时即出现敏感性。因而在选择红外线焊接聚合物时，确定其配方中的炭黑浓度是很重要的。若浓度降至0.07%以下，加热深度就会增加，表面加热便会减少。

碳含量超过0.03%的聚合物主要通过对红外线辐射的表面吸收来加热。在这种情况下，熔融有效深度的产生主要取决于相对较慢的传导过程。然而，假如转换时间很短，后者接近于高温热板焊接，在此焊接中，只要分解材料作为飞边被挤出，表面分解均在可容忍范围内。

参考文献

Grimm RA, Yeh H: Infrared welding of thermoplastics. Colored pigments and carbon black levels on transmission of infrared radiation. ANTEC 1998, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Atlanta, May 1998.

聚乙烯

采用辐射管加热器可成功实施聚乙烯管道的红外线焊接。仅9s的加热时间即可达到接

近母体材料的焊接强度和伸长率。虽然焊接强度接近使用了大量参数的母体材料，但由于零件表面的过冷和过热，使得加热程度很低和很高时出现一些脆断。焊接强度应采用伸长率来评估；仅仅依靠焊接强度还不能显示焊接质量。焊接参数不同，伸长率就不同，当加热时间为9s、加热距离为7mm、锻压力为334N（2.7mm（0.11in）的焊缝尺寸）时，伸长率达到峰值。除了这个条件，任何较长的加热时间、较短的加热距离和较高的锻压力（大于2.7mm（0.11in）的焊缝尺寸）都不能改善伸长率。焊珠尺寸能很好地指示加热程度，因为它对加热时间和加热距离的变化非常敏感。

参考文献

Yeh HJ: Infrared welding of polyethylene pipes using radiant heater. ANTEC 1996, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Indianapolis, May 1996.

30.1.8 粘合剂连接

聚乙烯

针对真空等离子预处理对聚乙烯粘合剂强度的影响进行了研究。采用的两种高强度环氧粘合剂是Eccobond 2332（一种单组分粘合剂）和Eccobond 45W1（一种双组分粘合剂）。Eccobond 2332在120℃（248℉）时固化需要1h，Eccobond 45W1与Catalyst 15按1：1的比例混合，在室温下固化需要24h。等离子处理样本在等离子处理后一天之内胶合在一起。

结果显示真空等离子预处理样本的粘合强度比塑料本身的强度要高。

参考文献

Lippens P: Vacuum plasma pre-treatment enhances adhesive bonding of plastics in an environmentally friendly and cost effective way. *Joining Plastics 2006*, Conference proceedings, London, UK, April 2006.

麦克马斯特 Carr：聚乙烯（形状：片材）

处理过程如下：将片材样本用酒精清洗，风干，然后使用小型喷砂器在276kPa（40psi）压力下用25μm氧化铝粉末将其弄粗糙。样本变得粗糙之后，再次用酒精清洗，装袋。在100%全氧环境下将样本进行等离子处理10min。所使用的粘合剂是FDA-2环氧基树脂（TRA-CON，Inc.，Bedford，MA）。

结果显示等离子处理对环氧基树脂与聚乙烯表面的粘合强度有很大影响。这种等离子处理的积极影响在老化样本和非老化样本上均可看出。老化样本明显揭示出，未经等离子处理，老化过程会加速，降低粘合程度。

表面粗糙化对未经等离子处理的试样的粘合强度有积极影响。

参考文献

Petrie SP, Bardsley EF: Epoxy adhesives: effect of plasma treatment and surface roughness on epoxy to polyethylene bond strength. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

聚乙烯

可用厌氧、氰基丙烯酸酯、紫外线、环氧基树脂和结构聚丙烯粘合剂对聚乙烯进行粘合。对氰基丙烯酸酯粘合剂，使用永久对辛基苯酚处理剂；对其他粘合剂，借助于火焰、电晕或等离子体处理设备来进行表面处理。

参考文献

The Engineers Guide to Adhesives, Supplier design guide, Permabond Engineering Adhesives.

巴斯夫股份公司：Lupolen

Lupolen 的高抗溶性避免了任意粘合剂对吹塑成型表面的溶解，仅可形成压敏粘接。可将需粘接的表面进行预处理来改善粘合情况，比如说，将其暴露在火焰或电晕放电下。

使用以下类型的粘合剂连接高密度和中密度聚乙烯：

- 双组分聚氨酯或环氧基树脂粘合剂。
- 聚醋酸乙烯酯共聚物热熔粘合剂。
- 弥散或溶剂型压敏粘合剂。
- 聚氨酯接触粘合剂。

参考文献

Lupolen Polyethylene and Novolen Polypropylene Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 579 e/4.92), BASF Aktiengesellschaft, 1992.

巴斯夫股份公司：Lupolen

由于 Lupolen 成型件是无极性的，并具有高抗溶性，采用粘合剂将其连接到一起的机会很小。然而，如果用火焰或电晕放电的处理方法增加它们的表面张量，采用粘合剂将其连接就是可行的，前提是对其强度没有较高的要求。因此，应该对合适的应用作标记。

参考文献

Lupolen, *Lucalen Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 581 e/(8127) 10.91), BASF Aktiengesellschaft, 1991.

30.1.9 机械连接

巴斯夫股份公司：Lupolen

如果钻好了必要的孔，就可以使用自攻螺纹螺钉将 Lupolen 部件连接起来。若连接部分经常松动，就应优先考虑螺纹金属嵌件，这种嵌件能通过不同方式与 Lupolen 部件牢固地结合起来，例如注入成型，通过作用力或超声技术进行锥形扩孔。

由于 Lupolen 和 Lucalen 成型件的柔韧性，可通过能与相应凹槽契合的突出部分、球或钩子等方法将它们牢固连接起来。可能会在 15° ~90°范围内变化的保持角度决定连接部分能够永久固定还是很容易松动。

参考文献

Lupolen, *Lucalen Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 581 e/(8127) 10.91), BASF Aktiengesellschaft, 1991.

30.2 低密度聚乙烯

30.2.1 概述

巴斯夫股份公司：Lupolen

对 Lupolen 低密度聚乙烯成型件可以采用以下装配方法：焊接，粘合剂，卡扣连接器和螺栓连接。

参考文献

Lupolen, *Lucalen Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 581 e/(8127) 10.91), BASF

Aktiengesellschaft, 1991.

30.2.2 旋转焊接

低密度聚乙烯

在旋转焊接试验中，突然制动总是比连续制动的焊接质量高。焊接质量最初会随着摩擦时间的增加而增加，但一旦进入第Ⅲ阶段（稳态摩擦阶段），摩擦时间再延长，焊接强度也不会再增大。就低密度聚乙烯来说，焊接速度对焊缝质量有决定性的影响。当速度为3m/s时，即可达到0.6的焊接因数（焊接强度/原材料强度）。把速度增加到6m/s时，焊接因数便会接近0.8。

参考文献

Tappe P, Potente H: New findings in the spin welding of plastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

30.2.3 热封连接

低密度聚乙烯（形状：薄膜）

影响脉冲热封热塑性聚合物薄膜剥离强度的工艺参数和薄膜参数已在研究之中，尤其是薄膜厚度和脉冲热封工具应用的时间/温度。使用脉冲密封器进行试验，这种密封器带有镍铬合金线条，安装在固定卡爪内并用含聚四氟乙烯涂层的织物条覆盖。镍铬合金线条宽1.1mm（0.043in），并且密封长度为469.9mm（18.5in）。包袋制造使用的商用低密度聚乙烯薄膜厚度有0.0254mm、0.0381mm、0.0508mm、0.0762mm、0.1016mm和0.1524mm（0.001in、0.0015in、0.002in、0.003in、0.004in和0.006in）几种。产生的焊缝须经过T剥离试验。

随着焊接时间的增加，脉冲密封的断裂负载稳定地增加，这是由于电流脉冲持续时间较长和焊接时间较长时的温度增加造成的。然而，当焊接时间增加到脉冲密封设备的极限时，一些薄膜制品就开始出现断裂负载降低，这些情况是由于低密度聚乙烯薄膜的过热和降解造成的。

虽然每一系列做过试验的低密度聚乙烯薄膜制品都会有一个略有不同的最佳脉冲密封设定，但据观察，电流平均持续1.3s，脱模薄膜顶部的平均温度为193℃（379℉），无需考虑薄膜厚度，就可产生以断裂最高负载为特征的脉冲密封。

虽然大部分样本由于粘着失效而遭到破坏，但据观察，样本的密封设置在最低值（115~125℃（239~257℉）和0.5~0.7s）时，是通过脉冲密封处两薄膜界面的剥离而破坏的。这种趋势是由于密封位置的两薄膜界面处熔融下降和较弱的粘合情况造成的。这些设置对于要求良好的剥离性能而密封性较弱的低密度聚乙烯薄膜是有益的。

参考文献

Raymond M, Leczynski A, Iovanna J, Tayebi A: Effect of impulse heat sealing process parameters on bond strength of low density polyethylene films. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

埃克森石油公司：105BR（特征：与LLDPE的混合物，形状：25.4μm厚的吹塑薄膜）

研究致力于低密度聚乙烯、C4-线性低密度聚乙烯、C8-线性低密度聚乙烯、增韧线性低

密度聚乙烯和聚乙烯塑料混合物的恒温热密封和脉冲热封性能。

通过对试验数据的深入分析得出结论：脉冲加热密封过程对过程参数和密封装置中构筑变化的敏感性比对薄膜组分变化的敏感性要强，而且，脉冲加热密封似乎对过程参数中的电压和时间比较敏感。热密封特性对密封装置的构造参数也很敏感，例如加热带的形状和电阻、不粘带条的厚度和质量，以及橡胶垫的硬度。因而可知，在脉冲加热密封中，电压的小小变化（约 0.05V，AC）就会产生密封和非密封的差别。

密封性能，尤其是固定加热密封，与 DSC 熔点有关，密封初始温度接近或稍微高于熔融峰点的最后温度。

参考文献

Sierra JD, Noriega MdP: Investigation of phenomenological differences of impulse heat sealing and constant heat sealing in Ziegler Natta and Metallocene polyolefin blends. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

Winzen 国际：Stratofilm 372（试样形状：厚度为 0.02mm 的吹塑膜）

样本在 100～200℃（212～392℉）温度范围进行焊接。室温和低温 T 剥离机械试验均与 ASTM（美国材料试验学会）方法 D882 相一致。

在 100℃（212℉）下焊接的样本在较低屈服应力和断裂应变时即失效。发现在 100℃（212℉）下焊接的样本在焊接区域会发生失效，失效形式称为剥离密封失效。其他焊接的样本会发生延性失效，并且在样本整个长度上会出现变形；失效不会发生在焊缝处。

在室温试验中，所有焊接样本失效时出现大约 300% 的应变。相反，当试验温度为 -80℃（-112℉）时，所有焊接样本失效时只出现大约 20% 或更少的应变。在 -80℃（-112℉）的脆性破坏均发生在与焊缝平行或直接相邻的母体薄膜上。

试验温度为 -60℃（-76℉）时，出现脆性破坏的样本数目和焊接温度之间存在一个明显的关联关系。

热影响区宽度和脆性破坏率会随着温度增长而增加，这种现象揭示了不断增加的热影响区尺寸在不断增加的脆性破坏中是关键因素，在研究的焊接低密度聚乙烯薄膜系统中可以看得到这些脆性破坏。

参考文献

Weston TE, Harrison IR: The role of a heat affected zone (HAZ) on mechanical properties in thermally welded low density polyethylene blown film. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

30.2.4 粘合剂粘接

陶氏化学：722M 低密度聚乙烯

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm

(0.03in)、横向速度为0.25mm/s (0.1in/s) 的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表30.2中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表30.2中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表30.2 采用乐泰公司的粘合剂对陶氏化学公司的722M低密度聚乙烯与低密度聚乙烯进行粘接的剪切强度

［单位：MPa (psi)］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
非填充树脂 5rms	<0.3 (<50)	1.0 (150)	3.5 (500)	1.0 (150)	1.0 (150)	2.4 (350)
粗加工的 88rms	<0.3 (<50)	1.0 (150)	3.5 (500)	1.0 (150)	1.0 (150)	2.4 (350)
抗氧化剂 0.1% 抗氧剂1010	0.3 (50)	1.0 (150)	3.5 (500)	1.0 (150)	1.0 (150)	2.4 (350)
紫外线稳定剂 0.3% 光稳定剂UV-531	0.7 (100)	0.7 (100)	1.4 (200)	1.0 (150)	1.4 (200)	1.0 (150)
阻燃剂 16%DER-83R，6%氧化锑	0.7 (100)	1.0 (150)	3.5 (500)	1.0 (150)	1.0 (150)	0.7 (100)
润滑剂 1% Synpro 114-36	0.7 (100)	1.0 (150)	3.5 (500)	1.0 (150)	1.0 (150)	2.4 (350)
填充剂 17% OmyaCarb F	0.7 (100)	1.0 (150)	3.5 (500)	2.1 (300)	1.4 (200)	2.4 (350)
着色剂 0.1% Watchung红B RT4280	<0.3 (<50)	0.7 (100)	3.5 (500)	0.3 (50)	1.0 (150)	0.7 (100)
抗静电剂 0.4% Armostat 375	<0.3 (<50)	4.1 (600)	3.5 (500)	5.2 (750)	1.0 (150)	1.4 (200)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：乐泰 3030 粘合剂能达到的粘合强度通常比无填充树脂高。将速凝胶 Prism 401 与 Prism Primer 770 联合使用，能在很难胶合的塑料上达到很好的粘合强度。加入防静电剂会大大增强速凝胶 Prism 401 和超级粘合剂 414 的粘合强度。

表面处理：将 Prism Primer 770 与 Prism 401 瞬间粘合剂结合使用，或者将 Prism 4011 医疗器材瞬间粘合剂和 Prism Primer 7701 结合使用，会造成所有低密度聚乙烯配方（含防静电剂的配方除外）的粘合强度数值显著增高。表面粗糙度对低密度聚乙烯的粘合强度无显著的影响。

其他信息：低密度聚乙烯能与所有的乐泰粘合剂、密封胶、处理剂和活化剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

30.3 高密度聚乙烯

30.3.1 热工具焊接

高密度聚乙烯（形状：管材）

表 30.3 中给出了高密度聚乙烯插入式融合焊接加热和冷却时间的推荐值。

表 30.3 高密度聚乙烯插入式融合焊接加热和冷却时间的推荐值

管材外径/in	加热时间/s		最大转换时间/s	冷却时间	
	SDR11	SDR17.6		紧固时间/s	总时间/min
3/8	5		4	6	2
1/2	5		4	6	2
3/4	7		4	10	2
1	8		6	10	4
1 1/4	12		6	20	4
1 1/2	12		6	20	4
2	24	10	8	30	6
2 1/2	30	15	8	30	6
3	40	22	8	40	6
4	50	30	10	50	8
4 1/2	60	35	10	60	8

注：标准尺寸比 SDR = 外径/壁厚。
1in = 25.4mm。

热工具的温度应该在 250 ~ 270℃（482 ~ 518℉）范围。

参考文献

Frank T: Heated tool welding of thermoplastic pipes (example polyolefins). AWS/DVS Conference on Plastics Welding, Orlando, October 2000.

高密度聚乙烯（形状：按ISO标准注射成型的拉伸试验样条）

加热板温度范围设置在185～260℃（366～500℉）范围。加热时间从10s变化到65s，焊接压力保持在1.379×10^5Pa（20psi）。在焊接过程中，记录焊接位移。

可达到的最大接头强度是基体材料强度的100%。然而，断裂能量与接头强度不成比例。结果也显示拥有基体材料强度100%的接头强度的样本不一定具有相同的断裂能量。

为获得较好的接头质量，焊接时需要的最小熔融层厚度为2.5mm（0.098in）（两侧）。需要提供0.75mm（0.03in）（两边）的最小焊接位移或0.3的最小挤出率，以产生较好质量的接头。

参考文献

Poopat B, Wu CY, Benatar A, Park JB: Optimization of contact hot plate welding of HDPE. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

高密度聚乙烯

结果显示，当时间或温度增加时，焊接强度也随之增加到最大值。这通常是普通高密度聚乙烯样本强度的100%。

参考文献

Rapai J: Tensile strength evaluation of hot plate welds in polypropylene and polyethylene. ANTEC 1997, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Toronto, May 1997.

高密度聚乙烯

研究结果见表30.4，高密度聚乙烯焊接接头强度主要依赖于熔融指数。具有较高热工具熔融粘度的低熔融指数聚合物允许较高的热板温度，并且这种温度能产生一个较大的热影响区，这反而会生成高强度的接头。对于注射成型的聚烯烃来说，在大部分加工条件下，可获得的焊接强度比具有较高熔融指数材料的要低。这是因为它们的低熔融粘度会对作用于焊接接头的热量多少产生实际的限制而不会使焊珠粘在热板表面。虽然热板上较好的剥离涂层在一定程度上缓和了这一问题，但熔融粘度对热板表面温度选择的影响仍限制着高熔融指数的高密度聚乙烯聚合物中热影响区（包含熔融或软化的聚合物）的形成。据发现一些材料不能达到设定值为0.03cm（0.012in）的焊接位移截止点，这说明冷封能使接头把所有熔化材料挤出来，导致了脆性焊接接头很容易发生断裂。

表30.4 热工具焊接的工业级高密度聚乙烯聚合物试样的拉伸及落锤冲击试验结果

材料					焊接和试样的落锤冲击			焊接拉伸结果		
供应商	级别	熔融指数 g/10min	密度 g/cm³	焊接温度/℃	平均焊接冲击能/N·m(in·lb)	平均试样冲击能/N·m(in·lb)	焊接因子	试验失效(%)	平均失效压力/MPa(psi)	平均失效应变(%)
昆腾	LF6030	3.0	0.952	170				0		
昆腾	LF6040	5.5	0.962	160	24.6（224）	33.0（300）	0.75	50	26.1（3792）	5.9
昆腾	LS5060	8.0	0.948	150	10.1（92）	30.9（281）	0.33	40	19.8（2880）	10.2
昆腾	LS6060	10.0	0.962	140	12.1（110）	33.0（300）	0.37	100	17.1（2480）	1.8
昆腾	LS6901	10.5	0.952	140	10.6（96）	30.7（279）	0.34	100	21.9（3184）	5.5
飞利浦	HMN4550	5.0	0.945	160	27.3（248）	35.1（319）	0.78	80	19.1（2768）	6.2
飞利浦	HMN6060	7.5	0.963	150				100	24.5（3552）	5.4

（续）

材料					焊接和试样的落锤冲击			焊接拉伸结果		
供应商	级别	熔融指数 g/10min	密度 g/cm³	焊接温度/℃	平均焊接冲击能/N·m(in·lb)	平均试样冲击能/N·m(in·lb)	焊接因子	试验失效(%)	平均失效压力/MPa(psi)	平均失效应变(%)
飞利浦	HMN6060-01	4.0	0.963	170				40	24.6（3568）	5.4
美孚	HMA045	7.0	0.952	150	20.7（188）	33.0（300）	0.62	40	18.2（2640）	16.0
美孚	NRA235	5.0	0.937	170	23.1（210）	38.1（346）	0.61	20	14.3（2080）	13.6
美孚	HRA034	3.5	0.940	200				0		
陶氏	12350N	12.0	0.950	140	9.9（90）	37.2（338）	0.27	100	19.3（2800）	6.8
埃克森	LL6407	7.0	0.935	150	14.0（127）	34.4（313）	0.40	20	14.1（2048）	9.7

基于上述弯曲和拉伸结果，聚合体密度也会影响焊接强度。结果显示，对于恒定熔融指数来说，增加聚合物密度会导致拉伸失效的几率变高。这种影响应解释为，聚合物的密度越高，其结构中含有结晶区的比例越大。而且，结晶程度高的材料要比低结晶聚合物的熔融温度区间窄。基于这种现象，在焊接应用中应使高密度聚乙烯材料的热影响区比低密度的浅。这会产生更多脆性焊缝，因此，高密度聚合物的焊接强度会变低。

参考文献

McGreevy RJ: Hot plate welding of high density polyethylene: the effect of melt index and density on weld strength. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

30.3.2 超声波焊接

高密度聚乙烯（形状：AWS 超声波试验样条）

试验针对纳米粘土含量（质量分数）分别为0%、3%、6%、9%的四种高密度聚乙烯纳米复合材料进行超声波焊接。其中评价了焊接力、振动振幅和导能器接头的焊接时间或剪切接头的焊接断裂对焊接强度的影响。采用了三种参数和试验中的三级设计来寻找最佳的焊接参数。

对于纳米粘土含量（质量分数）分别为0%、3%、6%、9%的高密度聚乙烯导能器样本来说，最大焊接强度分别是21.54MPa、9.39 MPa、7.65 MPa 和 6.23MPa（3124psi、1360psi、1110psi 和904psi）。这清晰地显示了最大焊接强度随着纳米粘土含量的增加而减少。这些样本焊接强度低，说明导能器接头可能不是焊接纳米复合材料的最佳选择。

对于纳米粘土含量（质量分数）分别为0%、3%、6%、9%的高密度聚乙烯剪切接头来说，最大焊接强度分别为25.42MPa、19.43MPa、19.01MPa 和 16.45MPa（3687psi、2818psi、2757psi 和 2386psi）。这是采用以下焊接参数获得的：24.7μm 的峰-峰振幅，578.2N（130lbf）的焊接力和0.381mm（0.015in）的焊接断裂区。对于剪切接头样本来说，粘土组分的增加所引起的焊接强度减小的程度要低得多，这可能是由于与导能器接头相比其具有更佳的流体流动性。剪切接头也有优点，即通过接头的负荷转移会随着断裂区或焊接区的增加而增加。因此，对于高密度聚乙烯纳米粘土复合材料的超声波焊接来说，剪切接头与导能器接头相比是一个较佳的选择。

参考文献

Flowers S, Humphrys S, Thomas J, Mokhtarzadeh A, Benatar A: Study of ultrasonic welding of HDPE-based nanoclay composites. ANTEC 2006, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Charlotte, May 2006.

高密度聚乙烯

推荐的高密度聚乙烯近场超声波焊接参数如下：

振幅：40μm；

频率：22kHz；

焊接力：500N；

焊接时间：1.2s。

参考文献

Vinogradov AA: Selecting the method and conditions of welding components of low-pressure polyethylene. *Welding International*, 13 (4), p. 413, 1999.

高密度聚乙烯

高密度聚乙烯的远场超声波焊接并不成熟。有的部件在尖角处熔融，或在含有少量熔融物或无熔融物导能器的部件交界处熔融。因而，建议对半结晶聚合物选择部件的长度时应将接头交界面处于位移腹处，可通过把顶端部分设计为半波长来实现。这会使得半晶体聚合物远场焊接与非晶态聚合物的同样有效。

参考文献

Benatar A, Cheng Z: Far-field ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

高密度聚乙烯

高密度聚乙烯的近场焊接技术是很成熟的，而非晶态材料能产生更强的粘合力。通常增加焊接压力在最初阶段会增加焊接强度，而由于不利的分子排列，进一步增加压力会降低焊接强度。增加焊接时间会增加能量耗散和强度；当焊接时间长于1.5s时，焊接强度会趋于稳定。与非晶态聚合物（如苯乙烯和聚苯乙烯）相比，增加振幅会更能增加能量耗散和强度，低振幅的情况除外。

参考文献

Benatar A, Eswaran RV: Near-field ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

30.3.3 旋转焊接

高密度聚乙烯

在旋转焊接测试中，与连续制动相比，突然制动能产生更高的焊接质量。焊接质量在最初时会随着摩擦时间的增加而增加。一旦达到了第Ⅲ阶段（稳态摩擦阶段），再增加摩擦时间也不会引起强度的增加。就高密度聚乙烯来说，焊接速度对焊缝质量有决定性的影响。当速度超过3m/s（10ft/s）时，焊接因数（焊接强度/基体材料强度）可接近1。

参考文献

Tappe P, Potente H: Newfindings in the spin welding of plastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

30.3.4 射频焊接

高密度聚乙烯

射频加热通常用于密封薄膜（如聚氯乙烯）或用于基体材料的容积加热。该研究首次发现可使用导电聚合物垫片和射频加热把高密度聚乙烯部件连接起来。垫片是由聚苯胺和高密度聚乙烯合成的导电聚合物制成。垫片应放在高密度聚乙烯部件的接头处，并使用频率为27.12MHz的射频能量对其有选择地加热，接头便会达到与基体材料同样高的强度。

参考文献

Faisst CF, Benatar A: A feasibility study of radio frequency joining of HDPE using conductive polymeric composite. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

30.3.5 热气体焊接

高密度聚乙烯（形状：片材）

对高密度聚乙烯进行热气体焊接推荐选择以下焊接条件：

焊接温度：300 ~ 350℃（572 ~ 662℉）。

焊接力（直径4mm（0.16in）的焊条）：25 ~ 35N（5.6 ~ 7.9lbf）。

气流速度：40 ~ 60L/min。

参考文献

Gibbesch B: Thermoplastic inliner for dual laminate constructions. Welding Beyond Metal: AWS/DVS Conference on Plastics Welding, New Orleans, March 2002.

30.3.6 挤出焊接

高密度聚乙烯（形状：片材）

基于对10mm（0.39in）和20mm（0.79in）厚的对接接头和T形接头的试验结果及对这两种接头力学性能的研究，高密度聚乙烯挤压焊接的最佳参数如下：

填充材料的塑化温度：220℃（428℉）。

焊槽塑化的空气温度：250 ~ 275℃（482 ~ 527℉）。

直径3mm（0.12in）焊条的进给速度：222 ~ 335cm/min（7.28 ~ 11.00ft/min）。

为了生产令人满意的接头，有必要对待焊片材开坡口，且焊接在焊槽角度为90°的条件下进行。成型覆盖物的外形和尺寸应与焊槽相兼容。

参考文献

Dziuba S, Boron S: The technology of extrusionfusion welding of polythene and polypropylene butt and T joints. *Welding International*, 14 (9), p. 677, 2000.

30.3.7 激光焊接

高密度聚乙烯

应根据不同的材料厚度和激光束（来自50W二极管激光器，波长为810nm ± 10nm）入射角来测量高密度聚乙烯的透射率和反射率。透射率随着厚度的增加而迅速降低，这是由于

球晶结构的色散效应所致。反射率不取决于材料厚度，但它会随着入射光角度的增加而增加。

参考文献

Rhew M, Mokhtarzadeh A, Benatar A: Diode laser characterization and measurement of optical properties of polycarbonate and high-density polyethylene. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

高密度聚乙烯（形状：3.42mm 厚的挤出片材）

使用 T 形样条，其法兰（尺寸为 20mm × 12.7mm × 3.42mm，即 0.79in × 0.5in × 0.13in）和球座/顶段部件是由自然的无填充高密度聚乙烯片材加工而成的。为改善交界处的激光吸收，应在接触面上放一片黑色 HDPE 薄膜（尺寸为 20mm × 7mm × 0.13mm，即 0.79in × 0.28in × 0.005in，含 5% 的炭黑）。

把焊接面上的功率从 0.31W 增加到 0.47W 就会导致球座基部出现大量熔融物。这会使得在焊缝基底处形成的填充物尺寸增大，并使得接头强度增加到接近母体材料强度的 95%。

参考文献

Rhew M, Mokhtarzadeh A, Benatar A: Through transmission laser welding of polycarbonate and high-density polyethylene. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

高密度聚乙烯（形状：片材）

有可能在高密度聚乙烯自然色片材的对接焊中产生高质量的接头，这种对接焊采用功率在 100 ~ 200W 范围的二极管激光器，所需的能量级要比其他方式（如热板焊接）的低。在最佳参数范围内焊接的 2mm 和 4mm（0.079in 和 0.16in）厚、自然色的高密度聚乙烯对接接头具有的力学性能不比母体材料低。光束能量和焊接速度对接头质量的影响最显著。将 2.2mm × 7.1mm（0.087in × 0.28in）的激光束集中在接头上表面，就会产生最佳的焊珠形状。

参考文献

Klimpel A, Lisiecki A, Oledzki A: Diode-laser butt welding of thermoplastic sheet. *Welding International*, 16 (11), p. 845, 2002.

高密度聚乙烯（形状：AWS 超声波试验样本）

为研究激光传送焊接过程的效率，使用了 ND：YAG 激光器。在激光通透式接头部件上使用的最大功率是 40W。所有试验应使用与接头部件壁厚相应的直径为 2.5mm（0.1in）的激光光束和 0.3N/mm^2（44psi）的恒定接头压力。使用的其他焊接参数见表 30.5。

表 30.5 高密度聚乙烯激光焊接参数

炭黑含量（质量分数,%）	扫描次数	扫描速度/(mm/s)	短期焊接因子
0.05	1	3.4	0.85
0.05	2	7.5	1
0.3	1	7.5	0.6
0.3	2	5.5	0.86

从表30.5中可看出，接头区的再次扫描对接缝质量有积极影响，在第一次扫描期间，接头部件之间达到最佳的热接触，而在第二次扫描期间，即可出现焊接。

参考文献

Potente H, Korte J, Stutz R: Laser-transmission welding of PE-HD. *Kunststoffe*, 87 (3), p. 348, 1997.

高密度聚乙烯

在最佳焊接条件下，高密度聚乙烯的激光焊接能产生强度［27.4MPa ± 1.3MPa (3970psi ± 190psi)］和伸长率与基体材料相等的接头。在这种情况下，通常会在焊接区域外发生失效。在已研究过的焊接参数（功率、光束与样本表面上焦点的偏移、保护气体流速、焊接压力和移动速度）之中，激光束偏移量（能量密度）和焊接压力对接头强度影响最大。增加光束偏移量而降低能量密度就能够增加接头强度，直到光束偏移量达到试验设定的最高值。对于HDPE来说，仍存在能达到最高接头强度的最佳压力。只要接头交界面能被切成一个通道，功率、移动速度和保护气流速对接头强度的影响就会很小。通常，高密度聚乙烯的激光焊接快速并且不需进行预焊处理。

参考文献

Ou B S, Benatar A, Albright CW: Laser welding of polyethylene and polypropylene plates. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

30.3.8 红外线焊接

高密度聚乙烯（形状：按ISO标准注射成型的拉伸试验样条，厚度为4mm）

对非接触式加热板焊接设定加热板温度为371℃（700℉）和427℃（800℉），应把非接触间隙保持在1mm（0.04in），加热时间从10s变化到65s，焊接压力设定为138kPa（20psi）和206kPa（30psi）。在焊接之后通过测量样本长度减少的总量来记录焊接位移。通过减少熔融层厚度、焊接位移和焊接位移与熔融层厚度的比率等焊接参数来控制优选工艺的参数。

熔融层与加热板温度和时间平方根的乘积成线性关系，*Y*轴截距取决于加热条件并且是加热板温度、非接触间隙和空气热扩散率的函数。

接头所能达到的最大强度与高密度聚乙烯基体强度相等。最佳熔融层厚度是3.5mm（0.14in）（两边），并且焊接位移-熔融的最佳比率是0.75。

使用非常高的加热板温度会导致接头处的材料降解，从而产生了低断裂能的焊缝。因此，采用高焊接压力可把降解材料尽可能地挤压出来。

参考文献

Poopat B, Benatar A, Park JB: Comparative study of contact and non-contact hot plate welding of HDPE. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

30.3.9 感应焊接

高密度聚乙烯

图30.1显示了把50mm（1.97in）高密度聚乙烯螺纹配件直接焊接到容积分别为95L、114L、209L吹模容器开口的例子。如果螺纹配件已被破坏，为了整修容器，可将配件移除并更换一个新的。

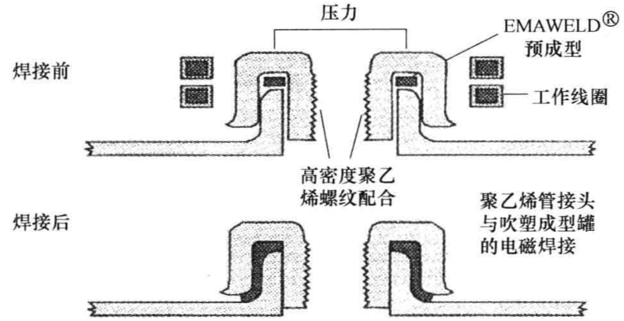


图 30.1 使用电磁焊接配有高密度聚乙烯接头的114L 吹塑成型罐

参考文献

Chookazian SM: Electromagnetic welding of thermoplastics and specific design criteria with emphasis on polypropylene. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

30.3.10 摩擦搅拌焊接

高密度聚乙烯

现已证明高密度聚乙烯的摩擦搅拌焊是一种可行的连接工艺，其拉伸强度可以达到基体强度的95%。

焊接热塑性塑料需要借助于带有固定模板而不是旋转轴肩的特殊工具，该模板需可控制温度来优化摩擦搅拌焊过程。这种带有平头销的工具不是合格的螺纹工具，但它带有的笔直锥形销很有效果。

对于热塑性塑料的摩擦搅拌焊来说，机器主轴转速是最重要的过程参数。

参考文献

Sorensen CD, Nelson TW, Strand S, Johns C, Christensen J: Joining of thermoplastics with friction stir welding. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

30.3.11 微波焊接

高密度聚乙烯

研究过程中所使用的导电聚合物是掺有氯化氢（HCl）的聚苯胺（PANI），为确保接触面处的结构兼容性，一开始就将聚苯胺和高密度聚乙烯粉末混合在一起，并且垫片是压缩成型的。垫片中产生的热量传递到样本上并产生了熔化层。压力的使用可确保足够的表面接触。

首先应将焊接参数进行优化，接着要进行拆解能力的研究。需要考虑的焊接参数有导电聚合物的含量（质量分数分别为30%、40%、50%和60%）、微波功率（2400W、1800W、1200W 和 600W）和加热时间。焊接压力保持在0.69MPa（100psi）。

非调谐和调谐微波系统均可用于研究拆解能力。总位移作为表征焊接和拆解过程的单一参数。只要总位移至少为2.7mm（0.106in），那么所达到的接头强度至少为基体强度的90%。拉伸强度接近基体强度60%的接头可以用非调谐微波系统将其拆解，这种微波系统相对作用力为27N（6.1lbf）。需要120s 的再加热时间和2000W 的功率来实现这种拆解。对

于调谐单模微波系统来说，当再加热时间和功率分别降到30s和1000W时，被拆解的接头最大强度增加到基体强度的80%。可拆解的最大位移是1mm（0.04in），不管所使用的聚苯胺的浓度是多少。拆解之后，有60%的样本会用相同的原始焊接参数再一次进行焊接。在重焊样本上进行的拉伸试验显示最大损失为15%。

参考文献

Staicovici S, Wu CY, Benatar A: Welding and disassembly of microwave welded HDPE bars. ANTEC 1997, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Toronto, May 1997.

高密度聚乙烯

在这项研究中，要使用一个功率为3000W、频率为2450MHz的新微波系统，它能提供较稳定和频段较窄的信号。同时，采用一种阻抗匹配技术来改善能量传递效率，该技术能显著降低输入功率。在焊接试验中，制造两种不同的复合加热元件，一种由10%的掺有HCl的聚苯胺粉末和90%的高密度聚乙烯粉末组成，另一种由聚苯胺（联合信号公司的商用聚苯胺）和5%～10%范围的高密度聚乙烯组成。

结果显示在微波频率时，聚苯胺导电聚合物要比掺有HCl的聚苯胺粉末加热迅速，这能显著地降低加热时间和加热合成物的浓度。接头截面处的温度增加主要取决于所使用的焊接功率，输入功率较高，产生的界面温度也会较高。当焊接功率为750W时，使用10%的聚苯胺产生的接头强度会在25s内达到96%。使用5%的聚苯胺发热材料产生的接头强度会在40s内达到90%。使用掺有HCl的聚苯胺粉末产生的接头强度会在50s内达到80%。可以得出这样的结论：聚苯胺与掺有HCl的聚苯胺粉末相比具有更高的微波吸收能力。

参考文献

Wu CY, Staicovici S, Benatar A: Microwave welding of HDPE using impedance matching system. ANTEC 1997, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Toronto, May 1997.

高密度聚乙烯

导电聚苯胺合成垫片已被应用于高密度聚乙烯棒的微波焊。这两种合成垫片由高密度聚乙烯和聚苯胺按不同的比例混合制造出来。

试验发现增加加热时间和焊接压力能够增大接头强度。当采用质量分数为60%的聚苯胺垫片且加热时间为60s、焊接压力为0.9MPa（130psi）时，接头的拉伸强度会达到最大值——24.79MPa ±0.34MPa（3595psi ±49psi），相当于高密度聚乙烯基材的拉伸强度。

参考文献

Wu CY, Benatar A: Microwave welding of high density polyethylene using intrinsically conductive polyaniline. *Polymer Engineering and Science*, 37（4）, p. 738, 1997.

高密度聚乙烯

对采用导电聚苯胺和单模微波系统的高密度聚乙烯焊接进行研究。在焊接期间，波导管内加热元件的方向和位置决定了垫片的电磁吸收情况。这影响了产生熔化层所需要的时间，也决定了焊接周期的长度。测量到垫片所处的最好位置是距短端（反射板）3.7cm（1.46in）处。垫片应与电场平行以便产生最好的加热效果。功率级别是决定周期的又一因素，高则能明显减少周期。考虑到接头的强度和周期，在功率为2400W、冷却压力为0.69MPa（100psi）的最佳连接条件下，周期可能接近15s。还可以通过增加焊接压力或功率级别来进行进一步的改善。

参考文献

Wu CY, Benatar A: Single mode microwave welding of HDPE using conductive polyaniline/HDPE composites. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

高密度聚乙烯

一种用微波焊接高密度聚乙烯的新颖技术正在发展之中。聚苯胺是一种合成的导电聚合物且三种复合垫片都是通过压缩模塑制造的。当频率为8.976GHz时，对于含50%聚苯胺的垫片来说，微波的传导率为0.023S/cm；对于含60%聚苯胺的垫片来说，微波的传导率为0.067S/cm。当频率为8.976GHz时，对于含50%聚苯胺的垫片来说，损耗角正切是0.4；对于含60%聚苯胺的垫片来说，损耗角正切是0.5。在进行高密度聚乙烯焊接时应把这些垫片放在接头界面处。较长的焊接时间产生的接头会较强。垫片中的聚苯胺含量越高，形成的焊缝越迅速和结实。使用含聚苯胺60%的垫片，并且焊接时间为120s，焊接压力为0.3MPa时，接头强度为19.43MPa±0.77MPa（2818psi±111psi），为模塑高密度聚乙烯棒强度的86%。对于一个1mm厚并且含聚苯胺50%的垫片来说，焊接时间为80s，焊接压力为0.3MPa（43psi）时，接头的强度为19.42MPa±0.47MPa（2816psi±68psi），为模塑高密度聚乙烯棒强度的86%。焊接压力增倍，接头强度也会增加。为达到最大接头强度，就必须要把大部分的垫片从界面处挤出来。

参考文献

Wu CY, Benatar A: Microwave joining of HDPE using conductive polymeric composites. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

30.3.12　粘合剂粘接

压缩聚合物：高密度聚乙烯

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。

虽然表30.6中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，当使用该数据去选择一种粘合剂时必须记住的一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，因此不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

表 30.6 采用乐泰公司的粘合剂对高密度聚乙烯之间进行粘接的剪切强度

[单位：MPa (psi)]

塑料材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/ Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
高密度聚乙烯压挤聚合物的作用（courtesy）	<0.3（<50）	0.3（50）	13.8（2000）	0.3（50）	1.0（150）	0.7（100）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

将速凝胶 Prism 401 与 Prism Primer 770 结合使用，或者将 Prism 4011 医疗器材瞬间粘合剂和 Prism Primer 7701 联合使用时，在高密度聚乙烯上会得到最高粘合强度。所有其他粘合剂在高密度聚乙烯上的试验都会得到低的粘合强度。聚乙烯能跟所有的乐泰粘合剂、密封胶、处理剂和活化剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

30.4 中密度聚乙烯

30.4.1 热工具焊接

杜邦：Aldyl（形状：管材）

依据结构和形态特性便能区分使用标准（材料生产商推荐）和非标准（出于研究平板移除时间增加产生的影响的目的）条件制造的焊缝，但是并非一直以拉伸强度为基础（见表 30.7）。拉伸强度低与焊缝和管道界面处畸形球晶区的不足、宽焊缝和焊缝方向流量的减少有关。焊接会轻微降低聚乙烯焊缝的结晶度。焊接会降低取向与管道轴心平行的结晶数量。

表 30.7 热板焊接中密度聚乙烯管材的焊接细节及拉伸试验结果

焊 缝	材 料	总体加热时间/s	加热板温度/℃（℉）	加热/焊接压力/MPa(psi)	加热板移除时间/s	拉伸强度/MPa(psi)
焊缝 1	聚乙烯	45	205（401）	0.25（36）	2	15.7（2280）
焊缝 2	聚乙烯	45	205（401）	0.25（36）	20	11.1（1610）
焊缝 3	聚乙烯	45	205（401）	0.25（36）	20	2.3（330）
母体材料	聚乙烯					14.8（2150）

透射光显微学并不总能显示出形态变化，这些变化可通过对侵蚀样本（如热影响区（HAZ）的范围）的电子显微镜（SEM）扫描检查，或通过傅里叶变换红外光谱（FTIR）来揭示（如样本退火区）。侵蚀模式（酸或溶剂）包括移除在壳层和球晶边界之间的无序材料。

参考文献

Stevens SM: Structure evaluation of polyethylene and polypropylene hot plate welds. ANTEC 1994, Conference

proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

中密度聚乙烯（形状：管材）

通过在熔接管道试样上进行的高速拉伸试验和摆锤式冲击试验来评估焊缝对接接头的短期性能。还可以通过疲劳试验来评估焊缝对接接头的长期性能。然后，进一步讨论通过改变加热条件和材料组合引起的焊缝接头冲击强度的变化。熔融区的结晶度和取向不同于管道基材的结晶度和取向。结果，经受快速加载的接头看似在断裂前不能承受重大的塑性变形。焊缝接头比基材的冲击强度降低大得多。

焊缝接头强度及其冲击强度的降低取决于树脂等级。具有高相对分子质量的聚乙烯接头强度的降低非常显著。这些减少量是由熔融界面处的熔化树脂弱流引起的。焊缝强度要受到加热条件的影响。对于密度为 0.935g/cm^3 和熔体流动速率为 0.21g/10min 的聚乙烯树脂来说，当加热温度处于 179℃（354℉）以下，和/或加热时间低于 30s，和/或应用压力超过了一定值时，冲击强度会降低。

参考文献

Narisawa I, Nishimura H: Short-and long-term properties of fusion-jointed polyethylene. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

30.5 线性低密度聚乙烯

30.5.1 热密封

石油化学元素：Elpene

研究针对高密度聚乙烯（Elpene F6A 来自石油化学元素）按不同比例混合的线性低密度聚乙烯的热封特性进行。将高密度聚乙烯分别按 20%、35% 和 50% 比例与线性低密度聚乙烯混合成二元混合物，并且在 110～150℃（230～302℉）温度范围内进行密封。剥落试验确定热封强度。

据观察，高密度聚乙烯含量为 20%、35% 和 50% 的混合物，在密封温度线性增加的过程中，分别在 125℃（257℉）、130℃（266℉）和 140℃（284℉）时密封强度达到最大值。当温度为 120℃（248℉）时，含量为 100% 的线性低密度聚乙烯可得到最大密封强度。一旦在相应的密封温度处达到了它们的最大密封强度，混合物的密封强度便会随着密封温度的增加而降低。

在高密度聚乙烯含量增加到 35% 之前，线性低密度聚乙烯/高密度聚乙烯混合物的热封特性均会大大增强。

参考文献

Iwu CF, Egbuhuzor OM: HDPE effects on the heat sealing properties of LLDPE. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

Polinter 公司：Resilin 11Q4（特征：丁烯 LLDPE，与低密度聚乙烯的混合物；形状：25.4μm（0.001in）厚的吹塑成型薄膜）；**陶氏塑料：Dowlex NG 2085**（特征：辛烯LLDPE，与低密度聚乙烯的混合物，形状：25.4μm（0.001in）厚的吹塑成型薄膜）；**陶氏塑料：Elite 5401**（特征：茂金属 LLDPE，混有低密度聚乙烯，形状：25.4μm（0.001in）厚的吹塑成型薄膜）

研究内容为低密度聚乙烯、C4 线性低密度聚乙烯、C8 线性低密度聚乙烯、茂金属线性

低密度聚乙烯和聚乙烯塑料体的混合物的固定加热和脉冲加热密封特性。

通过对试验数据的深入分析得出结论：脉冲加热密封过程对过程参数和密封装置中的构筑变化的敏感性比对薄膜组分变化的敏感性要强，而且，脉冲加热密封似乎对过程参数中的电压和时间比较敏感。热密封特性对密封装置的构造参数也很敏感，例如加热带的形状和电阻、不粘带条的厚度和质量，以及橡胶垫的硬度。因而可知，在脉冲加热密封中，电压的小小变化（约0.05V，AC）就会产生密封和非密封的差别。

密封性能，尤其是固定加热密封，与DSC熔点有关，密封初始温度接近或稍微高于熔融峰点的最后温度。

参考文献

Sierra JD, Noriega MdP: Investigation of phenomenological differences of impulse heat sealing and constant heat sealing in Ziegler Natta and Metallocene polyolefin blends. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

BP Chemical：LLDPE（形状：40μm（0.0016in）厚吹塑成型薄膜）

可通过试验检测热密封变量（滚筒温度和保压时间）对线性低密度聚乙烯（LLDPE）密封强度的影响。为使交界面强度的演变数值化，要将注吹膜的加热密封时间控制在1~100000s范围变化，这个时间比通常小于1s的密封时间要长。密封温度范围是100~130℃（212~266℉）。

从差示扫描量热法温谱图中可以看出，在130℃（266℉）时线性低密度聚乙烯会完全熔融，因此当进行热密封时，薄膜就会从部分熔化发展到完全熔化。采用T剥离结构测量密封强度，并且使用电子扫描显微镜来检查剥离断裂表面。

温度需要达到115℃（239℉）或更高时才能形成良好的密封。密封强度的重大影响与所研究的线性低密度聚乙烯的非均匀结构相关。当温度为115℃（239℉）时，低相对分子质量多支链的结构会很容易在界面处传播，冷却结晶会在界面处产生连接。然而，由于这些支链仅是一小部分结晶片断且相对分子质量很低，它们比全剥离强度的贡献要少。相反，具有较少分支的支链代表了大部分结晶片断（系紧支链的锚型物）和最高的相对分子质量（极多纠缠物）。只有温度处于相对分子质量较高且分支较少的支链开始熔化并且在界面处传播时的数值上，才能得到高剥离强度。

参考文献

Mueller C, Capaccio G, Hiltner A, Baer E: Heat sealing of LLDPE: relationships to melting and interdiffusion. *Journal of Applied Polymer Science*, 70, p. 2021, 1998.

30.6 交联聚乙烯

30.6.1 热工具焊接

交联聚乙烯 PEX（形状：管材）

对于PE-Xa（过氧化物交联聚乙烯）和PE-HD高密度聚乙烯管道的对焊来说，当对管道末端进行加热时，制造过程中产生的内应力会释放出来，这对PE-X交联聚乙烯管道的对焊会产生一些问题。管道末端的浸焊会在接头处产生环形坡口，对接头的长期耐用性产生负面影响。这可以通过反复加热，然后刨削，清理熔融区域的方式加以改善。如果这些影响能

够最小化，PE-Xa 过氧化物交联聚乙烯和 PE-HD 高密度聚乙烯焊接接头的短期焊接因数就能达到与 PE-HD 高密度聚乙烯之间焊接接头的数值（焊接因数为 0.9 ~ 1.0）。然而，PE-Xa 过氧化物交联聚乙烯和 PE-HD 高密度聚乙烯的对焊接头的长期特性并非与纯聚乙烯对焊的一样好。使用标准聚乙烯焊接参数会达到最佳结果。加热元件的温度处于 200 ~ 220℃（392 ~ 428 ℉）范围，焊接压力是 0.10 ~ 0.15MPa（15 ~ 22psi）。

对于 PE-Xa 过氧化物交联聚乙烯和 PE-Xb 交联硅烷管道间的对焊来说，采用 PE 聚乙烯的标准对焊方法会产生比较差的结果。

参考文献

Eckert R：Joining of PE-X pipes. Plastics Pipes XI, Conference proceedings, Munich, Germany, September 2001.

PEX（形状：直径为 100mm（3.94in）的管材）

研究针对两种交联聚乙烯管道的熔焊进行，这两种聚乙烯管道分别采用过氧化物（PEXa）和硅烷（PEXb）交联。

结果表明完全 PEXb 交联管道（77% 凝胶含量）对焊是不成熟的。非交联 PEXb 管道与在 95℃（203 ℉）热水中的交联 PEXb 管道的对焊会产生坚固的焊缝，甚至在温度为 158℃（316 ℉）的时候。这种焊缝的高强度是由于焊接平面也变成交叉联合而产生的。

PEXa 完全交联过氧化物聚乙烯管道的对焊会比 PEXb 全交联硅烷管道产生更好的结果。

参考文献

Scholten FL, Wolters M：Butt welding of PE and PEX pipes with small or no beads. 16th International Plastic Pipe Fuel Gas Symposium, New Orleans, November 1999.

PEX（形状：管材）

针对过氧化物交联聚乙烯的对焊进行研究。

结果显示交联程度在 70% ~ 90% 时不会影响交联过氧化物聚乙烯（PEXa）薄片的焊接质量，而且非交联支链的剩余物不是影响焊接强度好坏的必要条件。PEXa 过氧化物交联聚乙烯管道和中密度聚乙烯管道的对焊是很困难的，这并非是由于 PEXa 过氧化物交联聚乙烯焊接的基本问题，而是由于挤出应力的释放，引起熔化末端处管壁的变形。

参考文献

Scholten L, Wolters M：Welding of peroxide, silane, and electron beam crosslinked polyethylene pipes. *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, 27（10）, p. 465, 1998.

30.6.2 电阻植入焊接

PEX（形状：管材）

目前，已经进行了一项针对交联聚乙烯管道的电容焊的研究，并且，这种管道使用过氧化物（PEXa）、硅烷（PEXb）和电子束法（PEXc）进行交联。

结果显示过氧化物（PEXa）交联聚乙烯管道的电容焊取得了很好的结果，但是硅烷和电子束交联聚乙烯的结果不佳，这可能是由于其各自的交联剂和极性添加剂残余物造成的。

参考文献

Scholten FL, Wolters M：Welding of peroxide, silane, and electron beam crosslinked polyethylene pipes. *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, 27（10）, p. 465, 1998.

30.7 超高分子量聚乙烯

30.7.1 热工具焊接

凯迪拉克塑料与化学公司：Cadco

在对接焊（热工具焊接）中，对 Cadco 超高分子量聚乙烯的两个表面使用工具进行特氟隆涂覆。使用变阻器对该工具进行电子加热以便控制其温度。当 Cadco 超高分子量聚乙烯两部分的表面变得清洁和塑化时，就应移除该工具，用大约 1MPa（150psi）的推力能将部件推至一起，并使其在一定压力下得以冷却。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide (CP-200-92), Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

（赫斯特公司）**Hoechst AG：Hostalen GUR**

在对接焊中，当热工具温度为 200℃（392℉）时，已清洁的接合面承受轻微的接触压力直至两面均形成 4mm（0.16in）厚的一个可塑层。在由材料厚度确定的、接触压力为 1～2MPa（10～20bar，145～290psi）的作用下，两部分会一起受压直至变冷。如果材料厚度大于 30mm（1.18in），就需要 5 MPa（50bar，725psi）或更高的接触压力，并且在这种情况下要经常使用压铸机或特殊的焊接夹具。

参考文献

Hoechst Plastics Hostalen GUR, Supplier design guide (HKR112E8102/14), Hoechst AG.

30.7.2 旋转焊接

凯迪拉克塑料与化学公司：Cadco

使用旋转焊接可以获得 94% 的焊接强度。表面应该是绝对干净的，且这些表面应该平行以达到最大强度。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide (CP-200-92), Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

30.7.3 热气体焊接

凯迪拉克塑料与化学公司：Cadco

Cadco 超高分子量聚乙烯可采用低密度聚乙烯或高密度聚乙烯焊接棒进行焊接，尽管焊缝并不坚固，但是该焊接仍能提供防水性良好的接头。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide (CP-200-92), Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

30.7.4 摩擦搅拌焊

超高分子量聚乙烯

超高分子量聚乙烯摩擦搅拌焊是一种可行的焊接工艺且其产生的拉伸强度为基体材料强度的 69%。

焊接热塑性塑料需要借助于带有固定模板而不是旋转轴肩的特殊工具，该模板需可控制

温度来优化摩擦搅拌焊过程。这种带有平头销的工具不是合格的螺纹工具，但它带有的笔直锥形销很有效果。

对于热塑性塑料的摩擦搅拌焊来说，机器主轴转速是最重要的过程参数。

参考文献

Sorensen CD, Nelson TW, Strand S, Johns C, Christensen J: Joining of thermoplastics with friction stir welding. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

30.7.5　粘合剂粘接

（赫斯特公司）**Hoechst AG：Hostalen GUR**

Hostalen GUR 的高抗溶性限制了其可采用的粘合剂和双组分粘合剂范围，并且采用这些粘合剂也只可获得中等的接头强度。通过预处理霍斯塔伦聚乙烯表面可以改善粘合效果。常用的方法有铬酸硫酸预处理、氧化焰燃烧法或电子方法（喷雾放电）。用于这些方法的不同类型的恰当装置都是现成的。

参考文献

Hoechst Plastics Hostalen GUR, Supplier design guide (HKR112E8102/14), Hoechst AG.

30.7.6　机械连接

凯迪拉克塑料与化学公司：Cadco

塞焊通常用于无法通过在现有基材或支座上钻孔来加固 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯片材的情况。这可以通过在 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯片材上钻孔并在其基底处留下 4.8mm（0.1875in）的肩角来实现。然后将金属焊接垫圈嵌入孔中，再把焊条端部导入金属插头的定位孔，并且钉入金属基材中。将 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯预切插头置于金属插头上，然后把 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯片材表面弄平。不应使用厚度小于 6.4mm（0.25in）的片材。

从 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯薄片边缘起算，紧固件嵌入深度不应超出 51mm（2in）的范围。除此之外，厚度小于 6.4mm（0.25in）的薄片不应用于机械紧固件。同时，试验数据显示 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯片材的厚度从 6.4mm（0.25in）增加到 9.5mm（0.375in），导致支撑力增加了 50%。进一步研究显示，相对于厚度为 9.5mm（0.375in）的片材，在厚度为 12.7mm（0.5in）的薄片上采用机械紧固件，可得到 200% 的支撑力增加量。

提升螺栓作为一种紧固 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯以支持外表面的可靠方法，广泛应用在粮食产业中。由于提升螺栓能达到最大抓力，且在更换 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯衬里时易于安装和移除，因而在所有类型的工业中，养护工程师均将提升螺栓作为紧固件的首选。厚度为 6.4～25.4mm（0.25～1.0in）的衬里可选用覆盖超高相对分子质量聚乙烯的提升螺栓。加盖螺栓具有持续、光滑的超高相对分子质量聚乙烯表面，可消除紧固件周围材料的堆积。

注意：推荐将有 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯表面的平头装入沉头孔，因为在基底或衬里上扩大钻孔会造成扩展和收缩。扭曲衬里可避免扩张和收缩，但会引起弯曲。

最通用、快速、安全的加固方法是使用火药驱动紧固件。这种工具使用 25 和 27 口径装

药量来驱使紧固件穿过 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯嵌入基底。这种加固系统可以有效地运用在混凝土和钢铁基材上。在一些基材中，衬里的扩张、收缩或振动形成一种放松钉式紧固件的趋势。

注意：当把 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯加固到钢铁基材上时，要使用 31.75 ~ 38.1mm（1.25 ~ 1.5in）的螺栓、半径为 23mm 的垫圈，并将火药装入动力枪中。

螺钉：不锈钢平头螺钉是经济、便利的可用之选，尽管其很少用于木材、混凝土、砖石和塑料等基材。应将平头螺钉固定并与 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯的表面平齐，以防止正在输送的物料发生湍流。

注意：这种类型的紧固件仅用于 Cadco 超高相对分子质量聚乙烯厚板。当使用平头螺钉时，建议使用 9.5mm（0.375in）的或更大的尺寸。如果安装期间温度发生很大变化，材料就会在平头螺钉的头部发生扩张和拉伸。

参考文献

Cadco Engineering Plastics, Supplier design guide (CP-200-92), Cadillac Plastic and Chemical Company, 1992.

（赫斯特公司）**Hoechst AG：Hostalen GUR**

攻螺纹和自攻螺纹螺钉：可以采用正规金属切割机、车床（推荐速度为 20 ~ 30min^{-1}）或手工在赫斯特聚乙烯半成品上切割螺纹。原则上，首选同德标 405 一致的圆螺纹，但是由于材料具有的高缺口冲击强度，V 形螺纹也具有足够的强度性能。

参考文献

Hoechst Plastics Hostalen GUR, Supplier design guide (HKR112E8102/14), Hoechst AG.

30.8 乙烯-醋酸乙烯（EVA）

30.8.1 射频焊接

埃克森美孚化工：EVA

在薄膜（0.13mm，即 0.005in）中，浓度为（0 ~ 3000）×10^{-4}% 变化的增滑剂对焊缝强度的影响很小，在这个浓度范围内，增滑剂熔融并流出焊缝区域，因此增滑剂并不涉及密封扩散。然而，对于稍厚点的膜（0.38mm，即 0.015in）来说，增滑剂似乎能够增加焊缝强度。这是滑移分子的极性决定的：当薄膜厚度增加时，滑移分子的数量增加，导致在接触面处更快地生成热量，这些热量可促进熔化和密封。

防抱死剂对密封强度的影响很大。显然二氧化硅的出现强化了热量生成。当加入 7000 ×10^{-4}% 的防抱死剂时，乙烯-醋酸乙烯共聚物的密封强度增大了一倍。

参考文献

Tip From Technology. High Frequency Sealing of Polyolefins in Packaging, Supplier technology guide, Exxon-Mobil Chemical, 2003.

30.9 聚乙烯-丙烯酸共聚物

30.9.1 粘合剂粘接

巴斯夫股份公司：Lucalen A

由于共聚用单体的极性，乙烯共聚物即 Lupolen V 和 Lucalen 采用粘合剂的粘合比均聚

物更平稳。在依赖于共聚用单体比例的基础上，使制品遭受电晕放电或相似处理后，粘合剂及粘合强度能得到更好的改善。

处理过的薄膜可用特殊粘合剂平稳连接到一起。此项应用的一个例子是阀式座底袋。

参考文献

Lupolen, *Lucalen Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 581 e/(8127) 10.91), BASF Aktiengesellschaft, 1991.

30.10 环烯烃共聚物

30.10.1 概述

泰科纳：Topas

除了高频焊接外，可以用不同焊接方法连接 topas COC 树脂注射成型制件。

参考文献

Topas Thermoplastic Olefin Polymer of Amorphous Structure (*COC*), Supplier design guide, Ticona, 2000.

30.10.2 溶剂焊接

泰科纳：Topas

Topas COC 树脂在不同碳氢化合物中的可溶性使其可采用溶剂焊接连接制件。环已烷和甲苯是粘合 Topas COC 树脂的合适溶剂。

参考文献

Topas Thermoplastic Olefin Polymer of Amorphous Structure (*COC*), Supplier design guide, Ticona, 2000.

第31章 聚酰亚胺

31.1 粘合剂粘接

杜邦公司：Kapton（注意：利用溶剂蒸发来形成热塑性塑料）；**Vespel**（注意：利用沉淀来形成在玻璃化温度 T_g 前降解的“伪塑性”塑料，但它不是交联的）

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表31.1中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表31.1中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表31.1 采用乐泰公司的粘合剂对Vespel与Kapton聚酰亚胺与聚酰亚胺进行粘接的剪切强度

［单位：MPa（psi）］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
Vespel SP-1 无填充	10.7（1550）	15.2（2200）	2.4（350）	11.4（1650）	7.9（1150）	5.5（800）
Vespel SP-21 15%石墨	9.7（1400）	15.5（2250）	5.9（850）	16.2（2350）	3.8（550）	6.9（1000）
Vespel SP-22 40%石墨	3.8（550）	5.9（850）	2.8（400）	6.9（1000）	3.5（500）	1.7（250）
Vespel SP-211 15%石墨，10%聚四氟乙烯	2.8（400）	3.8（550）	4.1（600）	4.8（700）	1.4（200）	1.4（200）
Kapton HN 5mil厚500规格薄膜	>5.5①,②,③（>800①,②,③）	>5.5①,③（>800①,③）	>4.5③（650③）	>5.5①,③（>800①,③）	>5.5①,③（>800①,③）	>5.5①,③（>800①,③）
Kapton HPP-ST 5mil厚500规格薄膜	>5.5①,②,③（>800①,②,③）	>5.5①,③（>800①,③）	>4.1③（600③）	>5.5①,③（>800①,③）	>5.5①,③（>800①,③）	>5.5①,③（>800①,③）
Kapton HPP-FST 5mil厚500规格薄膜	>5.5①,②,③（>800①,②,③）	>5.5①,③（>800①,③）	>3.1③（450③）	>5.5①,③（>800①,③）	>5.5①,③（>800①,③）	>5.5①,③（>800①,③）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

② TAK PAK 7452促进剂应与Black Max380联合使用。

③ 在估计之前，应将Kapton膜与铝搭接剪切机lap shears粘合起来。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：对于聚酰亚胺来说，采用 Prism 401 和超级粘合剂 414 这两种腈基丙烯酸酯粘合剂会达到最高的粘合强度，使用一种橡胶韧化腈基丙烯酸酯粘合剂 Black Max 380 会获得其次的粘合强度。将双组分纯净腈纶丙烯酸粘合剂 Depend 330 和轻微固化丙烯酸粘合剂乐泰 3105 混合使用会达到最低粘合强度。Max 380，Prism 401，超级粘合剂 414，Depend 330，乐泰 3105，Flashcure 4305，Hysol E-90FL、E-30FL、E-20HP 和 E-214HP 环氧粘合剂，Fixmaster 高性能环氧树脂和 Hysol 3631 热熔胶都会在 0.127mm（5mil，0.005in）厚的聚酰亚胺薄膜上持续到发生基材失效。

表面处理：将 Prism Primer 770 与 Prism 401 瞬间粘合剂结合使用，或者将 Prism 4011 医疗器材瞬间粘合剂与 Prism Primer 7701 结合使用，不会产生任何效果，或会造成聚酰亚胺粘合强度的明显下降。

其他信息：当粘合聚酰亚胺薄膜时，有必要采用促进剂来促进氰基丙烯酸酯的凝结。所有的乐泰粘合剂、密封剂、处理剂和活化剂均可用于聚酰亚胺。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

第 32 章　聚甲基戊烯

32.1　粘合剂粘接

三井：TPX RT 18

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm（0.03in），横向速度为 0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪 4000 来确定表面粗糙度。

虽然表 32.1 中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表 32.1 中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表 32.1　采用乐泰公司的粘合剂对三井塑料公司的 TPX RT 18 聚甲基戊烯与聚甲基戊烯进行粘接的剪切强度

［单位：MPa（psi）］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
非填充树脂 3rms	<0.3（<50）	1.0（150）	>13.1①（>1900①）	1.7（250）	0.7（100）	1.4（200）
粗加工的 46rms	0.7（100）	3.5（500）	6.9（1000）	2.4（350）	0.7（100）	1.4（200）
抗氧化剂 0.08% 抗氧剂 1010	<0.3（<50）	0.3（50）	>13.1①（>1900①）	0.7（100）	<0.3（<50）	1.4（200）
UV 稳定剂 0.1% 光稳定剂 944	0.3（50）	0.7（100）	>13.1①（>1900①）	0.7（100）	<0.3（<50）	0.3（50）
填充剂 23% 云母	0.3（50）	1.0（150）	>13.1①（>1900①）	1.7（250）	1.0（150）	1.4（200）
抗静电剂 0.3% Armostat 475	<0.3（<50）	1.0（150）	>14.5①（>2100①）	1.7（250）	<0.3（<50）	1.4（200）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 由于块状剪切试样的严重形变，试验在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就停止了。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头

使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：对于聚甲基戊烯 PMP 来说，将 Prism 401 和 Prism Primer 770 联合使用可达到最高粘合强度，甚至与使基底失效时的强度相媲美。乐泰 3030 粘合剂同样会在聚甲基戊烯 PMP 上获得不凡的粘合剂强度，由于聚甲基戊烯的表面能量低，采用其他粘合剂的所得强度很差。

表面处理：将 Prism Primer 770 和 Prism 401 瞬间粘合剂结合使用，或者将 Prism 4011 医疗器材瞬间粘合剂和 Prism Primer 7701 结合使用，会引起聚甲基戊烯粘合性能的显著增加。表面粗糙化会使聚甲基戊烯 PMP 使用腈基丙烯酸酯粘合剂所达到的粘合强度显著增加，但使用丙烯酸粘合剂时不会产生显著影响。

其他信息：可采用非固化腈基丙烯酸酯粘合剂对聚甲基戊烯进行应力开裂，因此，任何其他粘合剂都应从其表面立即移除。聚甲基戊烯与丙烯酸粘合剂相兼容，但在粘合剂固化之前，它会受到促进剂的冲击，任何其他促进剂都应从其表面立即移除。聚甲基戊烯与厌氧粘合剂不相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

第 33 章　改性聚苯醚

33.1　概述

通用塑料：改性聚苯醚 Noryl

从表 33.1 可以看出，改性聚苯醚树脂 Noryl 对粘合、装配和加固技术都具有广泛的适应性。

表 33.1　适合 Noryl 聚苯乙烯改性聚苯醚（PPO）的连接技术

粘　　合	粘合剂溶剂
焊接	热封 旋转焊接 电阻焊接
机械装配	热铆接 自攻螺纹螺钉 螺纹嵌件 压入装配 感应热嵌件
超声波	铆接 嵌件 粘合

参考文献

Noryl Engineering Plastics, Supplier technical report (CDX-80), General Electric Company.

33.2　热工具焊接

改性聚苯醚

在恰当条件下，通过电烙铁焊接可使改性聚苯醚 M-PPO 焊缝达到很高的强度（母体材料强度的 97%）和韧性（2.4% 的失效应力）。

参考文献

Stokes VK: Toward a weld-strength database for hot-tool welding of thermoplastics. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

改性聚苯醚（PPE）

热保压时间是使热工具焊接强度接近母体材料强度的主要因素。当接触保持 4 ~ 8s 的停顿时，持续加热使在没有更多位移的情况下材料软化性增加。在温度为 268℃（514℉）时，为获得足够的均热材料，需要 30 ~ 40s 的加热时间。增加加热板温度，则允许减少加热时间。然而，还需要聚四氟乙烯套筒的替换物来防止元件粘在加热板上。

虽然其他加热参数也会影响位移，但对拉伸强度的影响却很小。在焊缝凝固期间，压力对强度的影响是相当大的。压力较高时，强度的降低多于 10N/mm^2（1450 psi），这可能是

因为接头处挤压出了大量的材料，因而减少了在许用温度下的可用材料量。对于性能优化来说，在凝固阶段0.35 N/mm^2（51psi）的较低压力和5s的较短时间是有利的。

参考文献

Watson M, Murch M: Recent developments in hot plate welding of thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

通用塑料：改性聚苯醚 Noryl

改性聚苯醚零件可通过加热板或氧炔焊连接在一起。该方法步骤如下：拿出两个配合零件，将每个零件的待粘接区域置于加热板上，移动加热板表面，然后迫使两制件粘合在一起直至粘接完成。

参考文献

Noryl Design Guide, Supplier Design Guide (CDX-83D (11/86) RTB), General Electric Company, 1986.

33.3 超声波焊接

通用塑料：改性聚苯醚 Noryl

采用超声波紧固两个或多个部件时需要使用改性聚苯醚树脂 Noryl。需要合理设计配合表面，配合使用导能器或剪切接头。

在粘合区域内，采用这种紧固技术即可达到高达21MPa（3000psi）的拉伸剪切强度。在大多数情况下，导能器和电极臂必须处于同一方向。具有高能输入的近场设计也是值得推荐的。

每种装置均需要特定的条件及相应设计，以下参数将作为一般设计指南：

设备功率：250～3000W。

超声波电极臂：在20kHz时，通常半波长可能是阶梯形电极臂（焊头），或是指数形、悬链曲面形、矩形、圆形或增大形。

支撑架：合理的支撑架设计对确保得到合适焊缝是相当重要的。

气体管线内压力：0.2～0.4MPa（30～60psi）。

焊接时间：0.8～2.0s。

保持时间：1～3s。

采用超声波焊接可以将改性聚苯醚 Noryl 焊接到其他热塑性材料上。使用普通的溶剂辅助即可获得很好的焊接效果，粘合强度取决于所使用的材料和焊接条件。

由于位于接合表面的基材数量少且模铸精确导能器较困难，玻璃增强级对于超声波焊接来说是比较困难的。对于玻璃填充材料来说，真空密封是很难达到的。

参考文献

Noryl Design Guide, Supplier Design Guide (CDX-83D (11/86) RTB), General Electric Company, 1986.

33.4 振动焊接

通用塑料：Noryl N190（形状：3.2mm（0.126in）厚的注射成型板）

聚苯醚 M-PPO 和聚碳酸酯 PC/PBT 的焊接相当好；在以下焊接条件下焊缝会达到聚苯醚强度 M-PPO 的73%：

频率：120Hz。

幅度：3.175mm（0.125in）。

压力：0.90MPa（130psi）。

焊透深度：0.55mm（0.022in）

焊接时间：2.0s。

聚苯醚不能与聚碳酸酯 PBT 焊接到一起。

参考文献

Stokes VK：The vibration welding of poly（butylene terephthalate）and a polycarbonate/poly（butylene terephthalate）blend to each other and to other resins and blends. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 15（4）, p. 499, 2001.

通用塑料：Noryl 190

在适当条件下，频率为120Hz 时，聚苯醚的横向厚度焊缝能达到很高的焊接强度。在普通焊缝会有很高的强度的工艺条件下，横向厚度焊缝不会达到最大强度。因此，低频（120Hz）焊接的最佳焊接条件是基于横向厚度焊缝的数据之上的。

当焊接频率为120Hz 时，横向厚度焊缝强度比0.52MPa（75 psi）的低压力焊接的要高，就像该材料的普通焊接一样，横向厚度焊缝强度比0.95mm（0.0375in）的低幅度下的要高。

在250Hz 的较高频率及最佳条件下，聚苯醚 M-PPO 会具有良好的横向厚度焊缝强度，而在同样的优选条件下，普通焊缝也会达到一样的强度。

参考文献

Stokes VK：Cross-thickness vibration welding of polycarbonate, polyetherimide, poly（butylene terephthalate）and modified polyphenylene oxide. *Polymer Engineering and Science*, 37（4）, p. 715, April 1997.

通用塑料：改性聚苯醚（PPE）

表33.2 中给出了振动焊接改性聚苯醚 M-PPO 与自身及其他热塑性塑料可达到的强度。

表33.2 振动焊接改性聚苯醚 M-PPO 与自身及其他热塑性塑料可达到的强度

材料系列	改性聚苯醚				
抗拉强度②/MPa（ksi）	45.5（6.6）				
断裂伸长率②（%）	2.5				
试样厚度/mm（in）	6.3（0.25）				
配合材料					
材料系列①	ABS	M-PPO	M-PPO /PA	PC	PEI
抗拉强度②/MPa（ksi）	44（6.4）	45.5（6.6）	58（8.5）	68（9.9）	119（17.3）
断裂伸长率②（%）	2.2	2.5	>18	6	6
试样厚度/mm（in）	6.3（0.25）	6.3（0.25）	6.3（0.25）	6.3（0.25）	6.3（0.25）
工艺参数					
工艺类型	振动焊接				
焊接频率	120Hz				
焊接接头特性					
焊接因子（焊缝强度/较弱的原材料强度）	0.76	1.0	0.22	0.24	0
（名义）断裂伸长率②（%）	1.45	2.4	0.35	0.4	

① ABS 为丙烯腈-丁二烯-苯乙烯；M-PPO 为改性聚苯醚；M-PPO/PA 为改性聚苯醚/聚酰胺；PC 为聚碳酸酯；PEI 为聚醚酰亚胺。

② 应变率为 $10^{-2}s^{-1}$。

参考文献

Stokes VK: Toward a weld-strength data base for vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

33.5 旋转焊接

通用塑料：改性聚苯醚 Noryl

旋转焊接工艺需要特定的自旋时间和一定的无旋压力保持时间，这些变量取决于所使用的改性聚苯醚等级和接头设计。典型条件如下：

圆周速度：12~15m/s（40~50ft/s）。

压力：2.1~2.8MPa（300~400psi）。

参考文献

Noryl Design Guide, Supplier design guide (CDX-83D (11/86) RTB), General Electric Company, 1986.

33.6 感应焊接

通用塑料：改性聚苯醚 Noryl

改性聚苯醚部件可通过电磁感应技术连接起来。电磁场穿过所要连接的材料在其交界面处直接产生热量。若线圈设计合理，磁场会激活均匀分布在粘合剂中的亚微米尺寸的金属颗粒，使产生的热在连接时被有效利用。

参考文献

Noryl Design Guide, Supplier design guide (CDX-83D (11/86) RTB), General Electric Company, 1986.

33.7 热封焊接

通用塑料：改性聚苯醚 Noryl

对于热封连接来说，采用的加热板温度为260~288℃（500~550℉），接触时间为20~30s时可获得最佳的结果。

参考文献

Noryl Extrusion Resins, Supplier design guide (CDX-265), General Electric Company.

33.8 溶剂焊接

通用塑料：Prevex

可用于连接改性聚苯醚（PPE）的有效溶剂包括二氯化乙烯、二氯甲烷、四氢呋喃、甲苯和三氯乙烯。

不能溶解改性聚苯醚（PPE）的溶剂包括丙酮、环己酮、二甲替甲酰胺、乙酸乙酯、丁酮、甲基丙烯酸甲酯和二甲苯。

参考文献

Techniques: Adhesive Bonding, Solvent Bonding, and Joint Design, Supplier technical report (#SR-401A), Borg-Warner Chemicals, Inc., 1986.

通用塑料：改性聚苯醚 Noryl

溶剂粘合（或焊接）的特征是运用化学试剂使改性聚苯醚树脂的外层充分溶解以便与

其他改性聚苯醚部件连接起来。在溶剂挥发之后，工艺的最终结果是纯粹的改性聚苯醚与改性聚苯醚之间的连接，没有任何中间材料。

可使用几种商用溶剂、溶剂混合物和包含不同比例改性聚苯醚树脂的溶剂溶液将改性聚苯醚树脂部件连接起来。可使用适当的溶剂（见表 33.3）将其他热塑性树脂和改性聚苯醚连接起来。

表 33.3　控制 Noryl 改性聚苯醚树脂的蒸发率的溶剂组合

<table>
<tr><td rowspan="5">Noryl 与 Noryl</td><td rowspan="3">表面总面积小于 $1ft^2$ 和/或开放时间少于 60s 时</td><td>体积比为 1：1 的三氯乙烯/二氯乙烯或体积比为 1：1 的 TCE/DCE，有利于快速蒸发（大约 15s）</td></tr>
<tr><td>三氯乙烯中等蒸发（30s）</td></tr>
<tr><td>体积比为 4：1 的 TCE/MCB，慢速蒸发（大约 45s）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">需要更多开放时间或使用更大面积</td><td>体积比为 1：1 的 TCE/MCB（甲苯可由 MCB 代替）</td></tr>
<tr><td>体积比为 4：1 的 TCE/MCB，以及质量分数/体积分数为 5% ~25% 的 Noryl 改性聚苯醚。若需要更多的开放时间，按每次约 10 个零件的量增加 MCB，最多到 60 个零件</td></tr>
<tr><td>改性聚苯醚与 ABS/聚氯乙烯</td><td>三氯乙烯/丁酮/四氢呋喃</td><td>体积比 11：2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">改性聚苯醚与 ABS</td><td>三氯乙烯/丁酮</td><td>体积比 4：1</td></tr>
<tr><td>三氯乙烯/二甲苯</td><td>体积比 1：1</td></tr>
<tr><td>改性聚苯醚与聚氯乙烯</td><td>二甲苯/丁酮</td><td>体积混合比 1：1</td></tr>
<tr><td>改性聚苯醚与氯化聚氰乙烯</td><td>四氢呋喃或四氢呋喃/三氯乙烯</td><td>体积混合</td></tr>
</table>

注：DCE 为 1，2-二氯乙烯；CH_2Cl_2 为二氯甲烷；MEK 为甲乙酮，2-丁酮；MCB 为一氯代苯；TCE 为三氯乙烯；XYL 为二甲苯，混合二甲苯，o，m，p-二甲苯；TOL 为甲苯；THF 为四氢呋喃。

参考文献

Noryl Design Guide, Supplier design guide (CDX-83D (11/86) RTB), General Electric Company, 1986.

33.9　粘合剂粘接

通用塑料：改性聚苯醚 Noryl 731

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm ×25.4mm ×3.175mm（1in ×1in ×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm（0.03in），横向速度为 0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪 4000 来确定表面粗糙度。

虽然表 33.4 中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表 33.4 中的添加

剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表 33.4 采用乐泰公司的粘合剂对改性聚苯醚 Noryl 731-701 Black PPO 与 PPO 进行粘接的剪切强度

［单位：MPa（psi）］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
无填充树脂 7rms	3.5（500）	17.2（2500）	12.1（1750）	11.0（1600）	2.1（300）	6.6（950）
粗加工的 25rms	3.5（500）	17.2（2500）	12.1（1750）	11.0（1600）	4.1（600）	6.6（950）
润滑剂 9% 聚四氟乙烯 F5A	3.5（500）	7.9（1150）	6.9（1000）	6.9（1000）	2.1（300）	6.6（950）
填充剂 9% 489 玻璃填充剂	3.5（500）	17.2（2500）	12.1（1750）	11.0（1600）	6.6（950）	3.5（500）
抗静电剂 5% Larostat HTS-904	4.5（650）	5.9（850）	4.1（600）	4.5（650）	2.1（300）	6.6（950）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：Prism 401 和超级粘合 414 瞬间粘合剂、Flashcure 4305 光固化粘合剂、乐泰 3030 粘合剂合和 E-214HP 环氧基树脂粘合剂在聚苯醚 PPO 上可获得最高的粘合强度。乐泰 3105（一种光固化丙烯酸粘合剂）、E-30CL 和 E-20HP 环氧基树脂粘合剂、U-05FL 氨基甲酸酯粘合剂、Hysol 3631 热熔化粘合剂、Fixmaster 高性能环氧基树脂和 Fixmaster 快速橡胶修补剂在聚苯醚上也表现出很好的粘合性能。添加抗静电剂或聚苯醚内部润滑剂会明显减小腈基丙烯酸酯粘合剂所能达到的粘合强度。然而，抗静电剂的添加必然会明显增加 Black Max 380 速凝胶所能达到的粘合强度。

表面处理：将 Prism Primer 770 和 Prism 401 瞬间粘合剂结合使用，或者将 Prism 4011 医疗器材瞬间粘合剂和 Prism Primer 7701 结合使用，会引起聚苯醚的粘合强度显著地减小。表面粗加工会引起使用 Depend 330 所能达到的粘合强度明显增加，但对其他已知的粘合剂未产生显著影响。

其他信息：聚苯醚可在未硬化腈基丙烯酸酯粘合剂的作用下发生应力开裂，因此应立即将其他粘合剂从其表面移除。聚苯醚与丙烯酸粘合剂相容，但在粘合剂固化之前，聚苯醚会在活化剂作用下出现开裂，应立即将任何其他活化剂从其表面移除。聚苯醚与厌氧粘合剂不相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

通用塑料：Prevex

普通粘合剂组与改性聚苯醚（PPE）的相容性见表 33.5。

表 33.5 普通粘合剂组和改性聚苯醚（PPE）的相容性

特性评估	材料评估	普通粘合剂组的相容率①				
		丙烯酸树脂	聚氨酯	氰基丙烯酸盐粘合剂②	环氧基树脂	硅胶
强度	改性聚苯醚	2	5	3	1	5
抗冲击强度	改性聚苯醚	3	2	5	4	5
间隙填充	改性聚苯醚	2	1	5	3	1
固化时间	改性聚苯醚	2	5	1	3	3
操作方便性	改性聚苯醚	3	4	1	3	2

① 相容率数据说明：1 为优异，2 为非常好，3 为好，4 为一般，5 为差。这些等级是通用的，并且会随特殊品牌而变化。在选择粘合剂之前应评估化学相容性以避免发生应力开裂。

② 应力开裂是氰基丙烯酸盐粘合剂的一个缺陷。仔细评估基材化学兼容性是值得的。

参考文献

Techniques: *Adhesive Bonding*, *Solvent Bonding*, *and Joint Design*, Supplier technical report (#SR-401A), Borg-Warner Chemicals, Inc. , 1986.

通用塑料：改性聚苯醚 Noryl

可采用各种不同的商用粘合剂（见表 33.6）将由改性聚苯醚树枝模塑而成的部件与相同材料或另外一种不同材料的部件粘接起来。由于这种粘合剂粘合包括用化学性不同的物质将两部件粘合，在选择粘合剂时，配合单元的最终应用环境很重要。必须仔细考虑操作温度、环境、粘合性能、设备外形、物理特性、生产设施、设备费和产品产量这些因素。推荐环氧基树脂或丙烯酸粘合剂，这是由于它们多用途的生产线和固化率调度。

表 33.6 推荐用于改性聚苯醚树脂的粘合剂和溶剂

粘合剂	类型	固化时间/温度	制造商
永久粘合剂 910	氰基丙烯酸酯	30s，室温	永久工程粘合剂
永久粘合剂 101	氰基丙烯酸酯	30s，室温	永久工程粘合剂
永久粘合剂 105	氰基丙烯酸酯	30s，室温	永久工程粘合剂
永久粘合剂 102	氰基丙烯酸酯	30s，室温	永久工程粘合剂
永久粘合剂 240	氰基丙烯酸酯	30s，室温	永久工程粘合剂
超级粘合剂 420	氰基丙烯酸酯	30s，室温	Henkel 公司
超级粘合剂 495	氰基丙烯酸酯	30s，室温	Henkel 公司
FFA-5	环氧基树脂	1h，71℃（160℉）	培根工业
旋转焊接 2214（常温）	填铝环氧树脂（1 品级）	40min，121℃（250℉）	3M 公司
旋转焊接 2214（高温）	填铝环氧树脂（1 品级）	40min，121℃（250℉）	3M 公司
旋转焊接 2214（高挠度）	环氧基树脂（1 品级）	40min，121℃（250℉）	3M 公司
旋转焊接 1838	环氧基树脂（2 品级）	24h，室温	3M 公司
旋转焊接 2216	环氧基树脂（2 品级）	24h，室温	3M 公司

（续）

粘　合　剂	类　　型	固化时间/温度	制　造　商
硅橡胶 103	硅胶	室温	迈图高新材料集团
硅橡胶 108	硅胶	室温	迈图高新材料集团
硅橡胶 102	硅胶	室温	迈图高新材料集团
硅橡胶 116	硅胶	室温	迈图高新材料集团
硅橡胶 157	硅胶	室温	迈图高新材料集团
506	丙烯酸	4～24h，室温	洛德公司
Depend	丙烯酸	4～24h，室温	Henkel 公司
二氯乙烯	溶剂	1～24h，室温	化工供应公司
三氯甲烷，氯仿	溶剂	1～24h，室温	化工供应公司
二氯甲烷，氯乙烯	溶剂	1～24h，室温	化工供应公司
三氯乙烯	溶剂	1～24h，室温	化工供应公司
85%三氯甲烷/15%三氯乙烯	溶剂	1～24h，室温	化工供应公司

当选用粘合剂时，应考虑以下因素：

- 粘合剂的固化温度不应超过改性聚苯醚的热变形温度。
- 应避免使用未经测试与改性聚苯醚树脂相容性的粘合剂。
- 在测试粘合剂兼容性时应考虑温度和压力这些条件。
- 应在适当的样本（T形钢，冲击，拉伸剪切）上进行粘合强度测试。

要确保零件表面没有污垢、油脂、灰尘、油或脱模剂。在达到最大粘合强度之前，零件表面应是铺沙的或受慢性酸侵蚀的。为避免偏心情况，在固化周期内仅使用“指压”程度的紧固力。

参考文献

Noryl Design Guide, Supplier design guide (CDX-83D (11/86) RTB), General Electric Company, 1986.

通用塑料：改性聚苯醚 Noryl

现有众多粘合剂可用于多种基材。以下是推荐与改性聚苯醚树脂联合使用的通用粘合剂系统：

单组分：包括各种环氧基树脂、氰基丙烯酸盐粘合剂、氨基甲酸酯、硅胶、丁腈和硫醚。它们在拉伸强度、粘性、固化和环境阻力方面各不相同。一些单组分粘合剂还需要处理剂。

双组分：大部分双组分粘合剂是环氧基树脂和氨基甲酸酯。一些类型需要把促凝剂或催化剂掺杂到基体中，其他类型则可将促凝剂刷在或喷在粘合剂应用的表面上。这可以获得更多的开放时间，更易于组装。

热熔系统：这些热熔系统中含有100%固体，通常是聚合物或聚合物混合物，这些固体常以热粘性流体形状使用，并且这些流体会在几分钟之内硬化到完全的强度。聚酰胺、丁苯橡胶、铌酸锶钡和醋酸乙烯酯共聚物适合于很多用途。它们具有快速、易于使用和不溶解的特点，因此它们能满足 OSHA 标准，但溶剂系统可能是一个问题。

无基材双面胶带（压力敏感性）：通常在牛皮纸衬垫上会采用100%粘合剂，或在聚氨

基甲酸酯或聚乙烯泡棉胶带上使用双面胶。将双面胶带用于一个表面并且要去除衬垫以便使用其他基材。通常会将0.5~3.2mm（0.020~0.125in）的泡棉胶带用于不规则表面上。胶带具有很好的剪切阻力，但通常会有较低的剥离强度。无基材双面胶带广泛用于汽车和家电工业的材料层压。

参考文献

Noryl Extrusion Resins, Supplier design guide (CDX-265), General Electric Company.

33.10 机械紧固连接

通用塑料：Noryl 731（特征：通用级，洛氏硬度为R119）；**Noryl GFN2**（特征：通用级，洛氏硬度为L106；材料组分：20%玻璃纤维增强）；**Noryl GFN3**（特征：通用级，洛氏硬度为L108；材料组分：30%玻璃纤维增强）；**Noryl HS1000**（材料组分：10%矿物纤维；工艺类型：注射成型）；**Noryl HS2000**（特征：洛氏硬度为R121；材料组分：10%矿物质）；**Noryl N190**（特征：抗冲击，阻燃；工艺类型：注射成型）；**Noryl N225**（特征：高耐热级，阻燃，未填充；工艺类型：注射成型）；**Noryl N300**（特征：阻燃）；**Noryl SE1**（特征：通用级，阻燃，电子级，洛氏硬度为R119）；**Noryl SE1-GFN2**（特征：阻燃，洛氏硬度为L106；材料组分：20%玻璃纤维增强）；**Noryl SE1-GFN3**（特征：阻燃，洛氏硬度为108；材料组分：30%玻璃纤维增强）；**Noryl SE100**（特征：通用级，阻燃，洛氏硬度为R115）

越来越多的产品使用带有改性聚苯醚树脂模塑成的盖子或外壳，尤其是在小家电领域。这些盖子和外壳很容易被设计成铰接结构，如图33.1所示。不应考虑用改性聚苯醚树脂制作活动铰链。

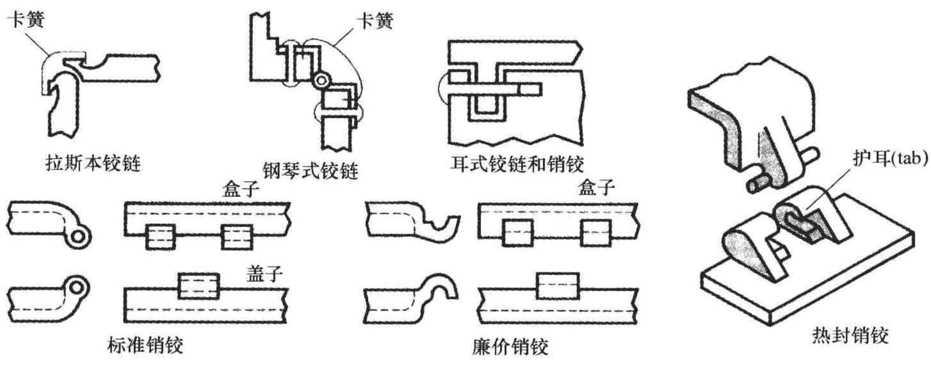


图33.1 推荐使用Noryl改性聚苯醚树脂的铰链设计。

铆接法：当进行聚苯醚树脂铆接时，应注意避免在多数铆接技术中都会产生的内在应力。使用承载铆钉会对加在部件上的应力大小有所限制。铝铆钉也会对部件上所作用的力有所限制，这是因为在高应力作用下铝会变形。

通常铆钉头直径应是柄的2.5~3倍，并且铆钉圆口应该有垫圈以避免局部应力过高。轴附近的间隙应满足很容易嵌入的要求，但不能太大以至于连接部件出现滑移。

卡扣组装：适用于改性聚苯醚树脂的一种紧固方法是模塑卡扣，这是因为，不需要额外

的部件，就能在紧固线或在最后使用位置处很快地组装接合部件。

在设计挠曲臂时应遵守以下准则：

● 不应超过推荐的动应变极限（见表33.7）。

● 在卡扣到位之后，挠曲臂应处于低应力或无应力状态。

● 应把卡扣配合位置设计为无尖角、无浇口、挠曲臂上无焊合线，否则会导致其寿命变短。

● 使用卡扣紧固的次数通常会少于10次，如果需要大量的循环次数，就要考虑疲劳寿命且可能会要求应变极限较低。

● 要考虑应力集中因数。

表33.7　使用Noryl改性聚苯醚树脂的卡扣紧固件的推荐动态应变极限

卡扣铰链所用树脂	卡扣铰链应变值（%）	动态应变计算值
N190，N225，N300	8	0.08
731，SE1，SE100	8	0.08
HS1000，HS2000	8	0.08
SE1-GFN2，GFN2 SE1-GFN3，GFN3	3	0.03

楔形梁是一种更有效的等应力挠曲臂。有几种形成卡扣臂的方法是可行的，在模塑时最好不要使用侧型芯。

铆接：热铆接是一种可用于改性聚苯醚树脂的紧固技术。根据级别不同，温度在230～290℃（450～550℉）范围内选择。这与超声波铆接相似，但是要加热成型封头并控制温度。设备可从商店定制或购买，并且价格相对较便宜。

不用于聚苯醚树脂超声波焊接，铆接要求在尖角和塑料表面间产生异相振荡。在有限接触面积内，不同相振荡活动需要轻微的初始接触压力。在连续轻微压力作用下，正是塑料的逐步熔化才形成了封头。需要调节流量控制阀和触发开关来将压力降低到想要的等级。

最佳铆接条件取决于部件设计和所使用的特殊聚苯醚树脂，对于直径为3.2mm（0.125in）的未填充树脂螺柱来说，典型的铆接参数如下：

压力：0.083MPa（12psi）。

焊接时间：0.25～0.6s。

保持时间：1s。

螺纹紧固件：通常使用金属螺钉和螺栓来装配改性聚苯醚树脂制件或连接不同元件。常用的螺栓装配如下：

1）插入螺母和螺栓。在这种情况下，金属紧固件在螺母和螺栓作用下压缩改性聚苯醚树脂部件。要遵守以下准则：

a. 改性聚苯醚树脂必须被压缩并且不能引起高的弯曲应力或模塑部件的扭曲变形。松配合间隙应足够大以使得紧固变为滑动配合。

b. 缺少这种类型紧固件的扭矩控制会在模塑部件中引起额外的压力。由紧固扭矩产生的合成压应力是分布在各个受压区域的轴向力。如果合成压应力超出了推荐的工作应力值，则必须将扭矩控制到一个较低值，或者在压缩作用下增加一个较大的螺钉头或金属垫圈。

由于这些区域通常受适度压力的作用，应避免使用润滑油、油料、防松螺纹油和其他基材。

2）嵌入金属部件。这与插入螺栓和螺母的设计很相似，但额外的压应力会产生一些问题，如果采用大的垫圈或较小的扭矩是不现实的，那么带肩螺钉或台阶螺钉便是实际的解决办法。

攻螺纹和自攻螺纹螺钉：当在注射成型部件中使用改性聚苯醚热塑性树脂时，车制螺纹自攻螺钉的使用，例如 ASA T 型（23 型）或 ASA BT 型（25 型）是值得推荐的。这种类型的螺纹是在安装过程中完成自身螺纹的车制，并且底部开有一个缝形狭槽，它是供切屑堆积的通道。攻螺纹螺钉的优点是使凸台周围区域的残余应力较低。

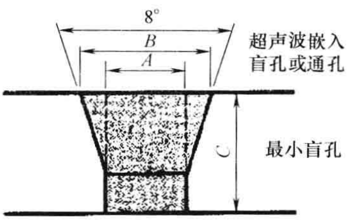
采用改性聚苯醚树脂自攻螺纹螺钉的通用设计标准如下：

- 接受钻孔的直径应该与螺钉中径相等。
- 凸台外径应能抵抗在插入阶段产生的圆周应力。通常，凸台外径应为螺钉直径的两倍。
- 螺钉啮合部分应至少是螺钉外径的两倍。螺钉啮合部分的细微增加会导致拔出强度的显著增长，然而，螺钉直径的增加仅使拔出强度产生较小的增长。
- 凸台高度不应超过凸台外径的两倍。钻孔深度应该比螺钉长度稍长，以便于切屑的堆积。
- 不推荐重复装配。
- 使用最小扭矩以使螺钉组装应力限制在材料的设计极限内。

与攻螺纹螺钉不同，螺钉产生的残余应力接近或超过推荐设计极限。采用自攻螺钉并需重复组装时，推荐使用凸台型顶盖。与螺纹成型自攻螺钉相比，这种组装件的优点包括拔出强度 50% 的增长、双倍的扭矩保持力、最低圆周应力和凸台的更大保护。

凸台：凸台盖是通过手工、气筒或小型压机压到凸台上的杯状金属环。凸台盖设计用于增强凸台抵抗自攻螺钉施加的膨胀力，并在轻负荷应用中与改性聚苯醚部件具有良好的配合。

超声波嵌入插件：在将金属嵌入插件安装到改性聚苯醚树脂制品上时，超声波嵌入插件是快速且经济的方法。这种技术可保证高度的机械可靠性、卓越的拔出强度和扭矩保持力，以及较短的产品周期。与模嵌和压入技术相比，如果安装设计合理，超声嵌入插件产生的残余应力较低，这是因为均匀熔融的发生和保温收缩量最小化。图 33.2 给出了使用改性聚苯醚嵌入件的推荐孔穴设计。由于未加强树脂级别和金属嵌入件之间存在热膨胀因数（CTE）的差异，不推荐采用多数的改性聚苯醚模嵌件。



螺纹尺寸	嵌件外径/in	嵌件长度/in	直径A/in	直径B/in	深度C/in
4～40	0.171	0.250	0.136	0.164	5/16
6～32	0.217	0.312	0.177	0.210	3/8
8～32	0.250	0.375	0.199	0.240	7/16
10～24	0.296	0.438	0.234	0.280	1/2

图 33.2　Noryl 改性聚苯醚树脂的超声波插入嵌件孔的设计推荐值。

超声波模锻：超声波模锻（见图 33.3）是将一些改性聚苯醚树脂熔融和再成型为另一种机械压缩紧固件的工艺。当改性聚苯醚处在以下通用情况时使用这个方法：

- 低振幅。
- 中压到高压。
- 刚性定位。
- 低拖动速率到中等拖动速率。

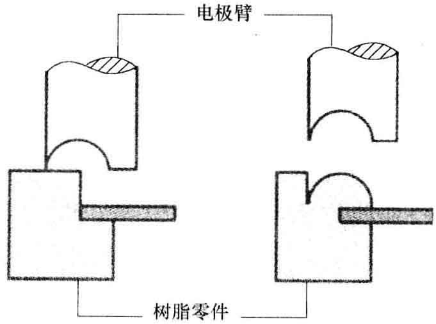


图 33.3　超声波模锻。

参考文献

Noryl Design Guide, Supplier design guide (CDX-83D (11/86) RTB), General Electric Company, 1986.

第34章　聚苯硫醚

34.1　热工具焊接

Ticona：Fortron（泰科纳公司：福特纶织物）

该方法适用于受机械应力作用的接头，较大的接合表面或零件几何尺寸排除了使用其他焊接方法的可能。确保所使用的热工具适合所要求的高温是很重要的。

参考文献

Fortron Polyphenylene Sulphide, Supplier design guide, Ticona, 2000.

34.2　超声波焊接

Chevron Philips Chemical：Ryton（雪佛龙菲利浦化学公司：聚苯硫醚）

将 Ryton 聚苯硫醚 PPS 混合物焊接起来是相对容易的。然而，接头设计对成品部件的强度是很关键的。剪切接头无疑是最佳的选择，尽管阶梯式接头已成功采用 Ryton 聚苯硫醚 R-4 制成。剪切接头的强度通常是阶式接头的六倍。

在焊接剪切接头时，采用高振幅升压机的大功率、低压力、慢电极臂速度。在焊接制品时，由于振幅过高和/或应用时间过长会毁坏制品，应该注意。

当制品最大尺寸为 89mm（3.5in）或更长、有 90°急转弯或不规则形状时，通常不推荐使用剪切接头，因为难以保持所需的模制公差。Ryton 聚苯硫醚可能不受这些限制，因为聚苯硫醚能保持微小的模制公差。

参考文献

Ryton Design Guide, Supplier design guide, Chevron Phillips Chemical Company LP, 2004.

Ticona：Fortron（泰科纳：福特纶织物）

Fortron（福特纶织物）制品可用普通超声波装配方法连接，产生的接头强度高。福特纶织物对近场超声波焊接和远场超声波焊接均适用。然而，由于材料的相关硬脆性，所以必须牢记改变被连接的制品吸收的交替应变可能会导致局部损坏。添加高达 40% 的强化材料仍可获得良好的焊接结果，但是在添加更多附加物后，焊接性也会恶化。

参考文献

Fortron Polyphenylene Sulphide, Supplier design guide, Ticona, 2000.

LNP 工程塑料：OF1006（材料构成：30% 的玻璃纤维）

聚苯硫醚作为一种半结晶热塑性塑料，并不完全适用于超声波焊接。在半结晶性塑料中，低温时半晶部分会软化，同时，机械损失率有相应的增长，这种增长导致结晶部分的熔融需要更多的能量。焊接性试验结果反映了这一现象。

焊接性研究的结果显示，只要有足够的能量作用于接头，接头就能形成，也就是说，必须使用高振动振幅，同时，角焊缝必须尽量接近接头。凸焊接头已被证明是最成功的接头设计。远场焊接不适用于这种材料。

1500W 的商业超声电焊机用于 30% 短玻璃纤维填充的聚苯硫醚超声波焊接的研究。突出接头和剪切接头均用于焊接性试验。通过比较铝、得复康可塑钢金属和聚四氟乙烯，对基础定位材料的影响进行了研究。

• 30% 短玻璃纤维聚苯硫醚（标准 LNP OF-1006）可进行近场超声波焊接。需要 80μm（0.003in）的高振幅及 275N（61.8lbf）的低焊接力以保证接头处可以产生足够的热量。焊接参数中不良公差的变动意味着需要优化焊接工艺。

• 如果要用超声波焊接，注射成型部件的质量非常重要。模具中的缺陷（如内在焊接痕）会影响超声能量传递，并在部件内产生能量吸收。在熔接痕处的能量不足，会导致样本的损坏、开裂或过热以及产生不理想的接头质量。

• 定位材料会影响焊接质量。在当前试验中，与铝相比，聚四氟乙烯固定允许焊接参数更宽的公差范围和更少的扩散，但是并没有改善所能达到的最大接头强度。

参考文献

Taylor N: The ultrasonic welding of short glass fibre reinforced thermoplastics. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

34.3　旋转焊接

Ticona: Fortron（泰科纳：福特纶）

对于有回转对称接合面的福特纶成型件来说，旋转焊接是获得气密的、高强度接头的合适的装配法。最适宜的焊接条件（如表面速度、接触压力和旋转速度）取决于福特纶的等级和制品的几何形状，也由优化试验确定。

参考文献

Fortron Polyphenylene Sulphide, Supplier design guide, Ticona, 2000.

34.4　激光焊接

Ticona: Fortron（泰科纳：福特纶）

在激光焊接工艺中，激光光束必须穿过第一个焊接部件，并被第二个部件吸收。福特纶等级试验显示，加强聚苯硫醚吸收性能非常好。由未填充福特纶制成的第一个部件（激光渗透）的壁厚应该少于 2mm（0.079in）。

参考文献

Fortron Polyphenylene Sulphide, Supplier design guide, Ticona, 2000.

34.5　红外线焊接

拜耳：Tedur 9611（增强材料：45% 的玻璃纤维）

由于玻璃纤维的取向，大型材料样本（3mm，即 0.118in 厚的板）在平行于熔接痕处呈现出 120MPa（17400psi）的强度，在垂直于熔接痕处强度为 80MPa（11600psi）。试验中以焊接层厚度的形式显示了聚苯硫醚（PPS）平板红外焊接的实际焊接强度，聚苯硫醚没有呈现出最小强度。同时，产生最佳强度的熔融层厚度范围与热工具对接焊产生的强度相当。聚苯硫醚焊接缝得到的强度超过 45MPa（6530psi）。基材强度为 80MPa（11600psi）时相对应的焊接因数近似为 0.6。

参考文献

Potente H, Michel P, Heil M: Infrared radiation welding: a method for welding high temperature resistant thermoplastics. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

34.6 电阻植入焊接

聚苯硫醚（增强材料：连续碳纤维和玻璃纤维）

试验研究针对基于金属网发热元件复合材料的玻璃纤维和碳素纤维加强聚苯硫醚的电阻焊接进行。

焊接压力显示，所研究的两种材料对其焊接强度的影响都相对有限。结果显示，对中等能量级别（110kW/m^2），需要0.6～1.0MPa（87～145psi）的压力。低于这个范围的焊接压力将导致分散和非常高的空隙量，从而产生弱结合的缺陷。焊接压力高于最佳范围将引起过多的挤压流动和产生力学性能低的干粘接。

需要注意的是，由于碳素纤维在径向方向上过高的热传递因数，碳素纤维强化样本比玻璃纤维强化样本需要更大的能量以达到最佳焊接范围。对于低能量级别来说，差异高达玻璃纤维样本能量输入的三倍。

参考文献

Stavrov D, Bersee HEN, Beukers A: Resistance welding of continuous fibre reinforced PPS composites with metal mesh heating element. Innovation and Integration in Aerospace Sciences, Conference proceedings, Belfast, UK, August 2005.

34.7 感应焊接

聚苯硫醚（增强材料：碳纤维织物）

为证明纤维强化热塑性塑料连续感应焊接工艺的效率，搭接焊接样本的特征通过拉伸剪切试验和显微镜检查的方法确定。将被连接的层压材料移动到装有电感器的滑轨上并在电磁场中加热到工艺温度。在加热后，由向前推进的滚筒施加焊接力，同时，吸收焊接元件的热量以使母体聚合物重新固化。

结果显示，在焊接力为200～300N（45～67lbf）时可达到最大焊接强度。当前进速度增加时，焊接强度的降低接近于线性变化。焊接接头的显微照片显示，全方位焊接发生在焊接速度高达3.6mm/s（0.14in/s）的时候，以至于焊缝不再与层压材料的其余部分分开。分层（一个层板与另一层板的结合破坏）的数量和范围以及层压材料所包含的空气量会随着前进速度的增加而增加。焊接力作用的时间很明显不足以消除熔化阶段产生的分层及再一次加固的层压材料。

参考文献

Rudolf R, Mitschang P, Neitzel M: Induction welding of fabric-reinforced fibre-plastic composites. *Schweissen und Schneiden*, 53 (10), p. 690, October 2001.

34.8 粘合剂粘接

通用塑料：Supec

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切

试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表34.1中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表34.1中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表34.1 采用乐泰公司的粘合剂对Supec聚苯硫醚之间进行粘接的剪切强度

[单位：MPa（psi）]

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
Supec级W331 30%玻璃增强填充聚四氟乙烯9rms	0.7（100）	1.0（150）	2.8（400）	1.7（250）	1.0（150）	3.8（550）
W331级，粗加工24rms	1.0（150）	3.5（500）	2.8（400）	2.8（400）	2.4（350）	3.8（550）
G301T级30%玻璃增强	1.4（200）	2.8（400）	1.0（150）	2.4（350）	1.7（250）	8.3（1200）
G401级40%玻璃增强	1.4（200）	2.1（300）	2.1（300）	2.1（300）	3.1（450）	7.6（1100）
G323级65%玻璃/矿物填充剂	1.7（250）	2.8（400）	6.2（900）	4.1（600）	2.1（300）	14.1（2050）
CTX530级30%玻璃增强聚苯硫醚/聚醚酰亚胺混合物	1.0（150）	1.7（250）	2.8（400）	2.8（400）	1.4（200）	6.2（900）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：Flashcure 4305光固化粘合剂、环氧树脂粘合剂E-30CL和E-214HP的采用使评估聚苯硫醚标准级别可获得最高的粘合强度。总的来说，所有测试的粘合剂都显现出与聚苯硫醚良好的粘合特性，但Black Max380速凝胶、乐泰3340光固化粘合剂、热熔胶和乐泰5900密封剂是例外。

表面处理：表面粗加工会使得评估的粘合剂所达到的粘合强度出现明显增长，但乐泰3105光固化粘合剂和Prism 401瞬间粘合剂例外，这两种粘合剂并没有发生粘合强度的明显变化。将Prism Primer 770和Prism 401瞬间粘合剂结合使用，或者将Prism 4011医疗器材瞬间粘合剂和Prism Primer 7701结合使用，并不会对聚苯硫醚的粘合性产生任何明显变化。

其他信息：聚苯硫醚可以与所有的乐泰粘合剂、密封胶、处理剂和活化剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含ODC的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, Vol. 4, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

Chevron Philips Chemical：Ryton（雪佛龙菲利浦化学公司：聚苯硫醚）

如果对聚苯硫醚混合物表面进行适当的预处理以使粘合剂能润湿其表面，便会有很多粘合剂能与其连接。

参考文献

Ryton Design Guide, Supplier design guide, Chevron Phillips Chemical Company LP, 2004.

Ticona：Fortron（泰科纳公司：福特纶织物）

福特纶织物的高溶剂抗性只允许接触粘合剂。根据应用场合，可使用基于环氧基树脂、丙烯酸酯或聚氨酯的双组分粘合剂，基于超能胶或热熔胶的单组分粘合剂。

参考文献

Fortron Polyphenylene Sulphide, Supplier design guide, Ticona, 2000.

34.9 机械紧固连接

卡扣装配：聚苯硫醚混合物的高强度和硬度可获得良好的支撑强度，且弯曲和干扰均最小化。而且，应用聚苯硫醚卡扣仅需要一次紧固。

铆钉：聚苯硫醚在采用半管型铆钉紧固上的应用非常成功。半管型铆钉的定义为，壁上测量的平均孔深不超过平均圆柱直径的112%的一种铆钉。这种设计会将较少的应力施加于模塑部件上，尤其当孔和头部下侧之间的距离与复合材料的厚度相同时。为确保铆接将最小应力施加于模塑部件，有必要调整铆钉用具来施加将铆钉半结铆紧所要求的最小应力。

螺栓自锁螺纹：在大多数不需要反复紧固和拆卸的情况下，带有自锁螺纹的聚苯硫醚成型件表现很好。聚苯硫醚玻璃矿物填充混合物中的螺纹孔具有很好的螺栓握力。拧入等于四个螺栓直径深度的螺栓可获得与黄铜和低碳钢螺栓相当或更好的拉伸强度。旋转三圈并拧入两个螺栓直径深度的螺栓也有很好的强度。

自攻螺纹：聚苯硫醚所具有的优良蠕变强度使其与自锁螺钉能够良好配合。由于聚苯硫醚混合物的硬度，切削类型螺纹而不是形成类型螺纹使其性能最好。

超声波嵌件：使用超声镶嵌件能方便地进行聚苯硫醚的装配。在需要重复组装，并需要高的拔出强度时，推荐使用这些类型的嵌入件。

模塑螺纹：由于聚苯硫醚具有优良的加工性能，模塑螺纹可设计用于许多制件，这将消除昂贵的二次机械加工的需求。与车制螺纹相比，由于对注射成型制品的中型效应，模塑螺纹也会提供优越的性能。

模塑嵌件：由于聚苯硫醚具有优良的加工性能，模塑嵌入件可设计用于许多制件。在重复组装和需要制品拆卸时可使用模塑嵌入件。由于聚苯硫醚在嵌入件周围容易成型，所以可

达到优良的拔出强度。在需要可感知的预载荷时推荐使用模塑嵌入件。模塑嵌入件必须设计成载荷在金属嵌入件中传递而不是在塑料中传递。在高载荷条件下的凸缘式嵌入件性能很好。

热铆接：对于非晶质制品来说，典型直径为3.2mm（0.125in）柱塞的最佳工艺条件为尖端温度310℃（590℉）。结晶性制品使用327℃（620℉）的尖端温度。下向力是68kgf（150lbf），并作用40s。由于在熔融/成型后熔融区将是非晶质的，如果需要完全晶质制品，要在204℃（400℉）的温度下退火2h才能组装。由于所有的玻璃强化混合物都能被磨平，推荐熔融尖端由60HRC或更高硬度的淬火钢制成。

参考文献

Ryton Design Guide, Supplier design guide, Chevron Phillips Chemical Company LP, 2004.

Ticona：Fortron（泰科纳公司：福特纶织物）

卡扣装配：福特纶织物用于低成本的刚性工程塑料的卡扣组装技术。为确保这种方法获得成功，卡扣元件的正确设计是非常重要的。以下外部纤维应变的指导值应作为上限值：

- 福特纶 1131L4、1140L4、1140L6：1.3%。
- 福特纶 4184L4、4184L6：1.1%。
- 福特纶 6165A4、6165A6：0.8%。

计算中所需的摩擦因数依赖于滑动类型、表面粗糙度和表面压力。福特纶的典型摩擦因数如下：

- 福特纶/福特纶：0.3~0.4。
- 福特纶/钢：0.4。

含螺栓的组装：由于与其他聚合物相比，福特纶织物具有低延展性，所以福特纶织物在相同条件下不能补偿应力峰值，并具有接口敏感性。由于这些原因，应更小心地设计具有高应力的制品形状。对福特纶织物制成的制品使用以下螺纹方法：模塑螺纹，模塑嵌入件，有贯穿螺栓和垂直螺栓的螺栓连接（如自锁螺钉）。

参考文献

Fortron Polyphenylene Sulphide, Supplier design guide, Ticona, 2000.

第 35 章　聚　丙　烯

35.1　聚丙烯概述

35.1.1　简述

赫斯特股份公司：Hostacom（增强材料：玻璃纤维）

热气体焊接、热工具焊接、摩擦焊接和振动焊接对于焊接 Hostacom 来说都是合适的焊接方法。超声速焊接仅适用于“近场”条件下。

在半成品处理过程的情况（化学机器制造）下，Hostacom 模具仅在一定情况适用于焊接设计。

参考文献

Hostacom Reinforced Polypropylene, Supplier design guide (B115BRE9072/046), Hoechst AG, 1992.

赫斯特股份公司：Hostalen 霍斯塔纶（聚丙烯纤维）

所有经管材增压的霍斯塔纶聚丙烯纤维（聚丙烯）通过热工具插口融合焊，以及热工具对接焊或挤压焊接，都能彼此均匀且永久地结合在一起。也可使用各种各样的焊接配件，包括用于将塑料连接到金属上的配件，例如具有金属螺纹嵌件或夹螺钉耦合的承插焊。

参考文献

Future—The Hoechst Magazine, Supplier newsletter (HB920EBR/014), Hoechst, 1992.

Doeflex 有限公司：聚丙烯（工艺类型：热成型；形状：片材）

聚丙烯是非极性的、化学惰性的材料，且不能使用常用于柔性聚氯乙烯材料的高频设备进行焊接。然而，热粘合技术在聚丙烯的焊接中效果很好。在一些领域中，聚丙烯模具和厚板通过热气体焊接、热板焊接或摩擦焊接技术进行焊接。对 Doeflex 聚丙烯粘合剂来说，这些方法并不奏效。

参考文献

Thermoforming with Polypropylene and Polyethylene, Supplier data sheets, Doeflex Industries Limited.

35.1.2　热工具焊接

聚丙烯（形状：泡沫）

焊接因子可达到 0.9 及以上。

参考文献

Potente H, Wilke L: Welding thermoplastic foams. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

聚丙烯

对于热板焊接来说，使用以下的焊接参数时，焊接热影响区的厚度大约为 420μm (0.017in)：

热板温度：244℃（516K，471℉）。

匹配时间：30s。

匹配压力：659.3kPa（95.6psi）。

加热时间：35s。

转换时间：1.5s。

锻透时间：60s。

锻透压力：741.7kPa（107.6psi）。

参考文献

Krishnan C, Toussant D, Benatar A: Comparison of weld morphology of polycarbonate and polypropylene for hot plate, vibration and ultrasonic welding. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

聚丙烯（增强材料：纳米粘土）

已采用加热板焊接来研究纳米粘土含量为0%、3%和6%（质量分数）的聚丙烯纳米复合材料的焊接性。使用三个因素（加热温度、加热时间和锻透压力）和试验的二级设计来分析和优化焊接参数。

纳米粘土含量为0%的样本，可测量的最大焊接强度是22.6MPa（3280psi），这个数字是基体材料强度的93.7%。纳米粘土含量为3%（质量分数）的样本，最大焊接强度是19.9MPa（2890psi）（基体材料强度的79.4%），纳米粘土含量为6%（质量分数）的样本，最大焊接强度是16.2MPa（2350psi）（基体材料强度的62.2%），这些数字显示焊接强度随着样本中纳米粘土含量的增长而降低。这些不利影响包括从断裂表面试验得到的焊缝较低的延展性，以及从显微照片的横断面上观察到的更薄的熔化层。

参考文献

Mokhtarzadeh A, Benatar A, Wu CY: Experiments in hot plate welding of polypropylene nanocomposites. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

聚丙烯（增强材料：20%的玻璃纤维；形状：注射成型ISO拉伸试验样本）

在焊接处理的加热阶段，用显微镜观察加热区而不是焊接棒上的横截面，测量加热熔化区域的深度（L_0）。对于任一焊缝来说，L_0和焊缝偏移量（d）的值决定着熔化位移量的比率。（$RMD = d/L_0$）。

最佳焊接温度大约为260℃（500℉）。焊接引起焊缝区域纤维的横向变化。*RMD*影响纤维的横向取向和空洞的发生。这些特征对焊接强度产生有害的影响。

参考文献

Oliveira MJ, Duarte FM, Tchalamov D, Cunha AM: Hot plate welding of glass reinforced polypropylene. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

泰科纳：Celstran聚丙烯（增强材料：长玻璃纤维）

不考虑纤维含量，热工具焊接产生最大的焊缝强度值。使用以下的焊接参数，Celstran聚丙烯的焊缝强度可以达到25~40MPa（3630~5800psi）：

加热板温度：260℃（500℉）。

加热时间：10~20s。

加热压力：0.5~0.6MPa（73~87psi）。

焊接压力：0.5~0.6MPa（73~87psi）。

或者，对于高温度加热板焊接来说，参数如下：

加热板温度：360℃（680℉）。

加热时间：5~10s。

加热压力：0.4~0.5MPa（58~73psi）。

焊接压力：0.4~0.5MPa（58~73psi）。

参考文献

Celstran, Compel Long-Fibre-Reinforced Thermoplastics (LFT), Supplier design guide, Ticona, 2001.

聚丙烯（填料：滑石粉）

纯聚丙烯样本，含20%、40%滑石粉的聚丙烯样本使用温度为250℃（482℉）和290℃（554℉）的加热板焊接。加热时间变化范围是10~80s，焊接压力保持常压为1.397×10^5Pa（20psi）。

研究发现最大接头强度取决于滑石粉浓度。纯加强聚丙烯和含40%滑石粉的加强聚丙烯的最大接头强度分别是基体强度的97%和54%。对于滑石粉加强聚丙烯来说，接头强度较低，断裂时能量在0.5J以下。这表明在接头接触面的分子间扩散力受到了限制，这是由于在接头交界面处滑石粉填料的高浓度和横向偏移量造成的。

参考文献

Wu CY, Poopat B, Benatar A, Park JB: Hot plate welding of polypropylene and talc reinforced polypropylene composites. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

聚丙烯（增强材料：玻璃纤维；填料：白垩和滑石粉）

研究结果显示，尽管工艺条件变化，但材料特性对填充和加强的物料系统可达到的最大焊缝强度的限制是不可超越的。

对玻璃纤维增强的聚丙烯进行的参数研究的结果显示，可达到的焊缝应力$\sigma_{schw(\varphi)}$是以下参数的函数：

玻璃纤维的含量φ。

未加强的对比样本的屈服应力$\sigma_{schw(\varphi=0)}$。

基体物料的焊缝应力$\sigma_{schw(\varphi=0)}$。

玻璃纤维加强对比的样本的屈服应力$\sigma_{GM(\varphi)}$。

参考文献

Potente H, Brüßel A: Welding behaviour of filled and reinforced thermoplastics with hot plate welding. ANTEC 1998, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Atlanta, May 1998.

聚丙烯（增强材料：玻璃纤维）

将加热板设计成不同的外形轮廓，选用两种滚边的形状作为加热板的表面结构——一种是轴向平行于板脊的滚边，一种是交错的滚边。选用1mm（0.039in）的间隙作为滚边板脊的距离。采用平加热板表面作为对照，加热板表面不用任何东西覆盖。对所有的焊接试验选用同样的加热条件——加热板的温度是250℃（482℉），加热时间是40s。

结果证明，当将玻璃纤维材料用热工具焊接到一起时，即便采用具有特殊轮廓的加热板，去除玻璃纤维成分后，最大焊接因子仍不可能超过1。

参考文献

Potente H, Brüßel: Investigations into increasing weld strength through the use of profiled hot plates. ANTEC

1997, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Toronto, May 1997.

聚丙烯

结果证明，当时间或温度增加时，焊缝强度随之增加，直到达到最大值。对于聚丙烯来说，这仅是正常样本的75%。

参考文献

Rapai J: Tensile strength evaluation of hot plate welds in polypropylene and polyethylene. ANTEC 1997, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Toronto, May 1997.

聚丙烯（形状：无规则的长玻璃纤维垫）

在无规则的长玻璃纤维垫加强的聚丙烯中，纤维对加强热工具对接焊缝不起作用。含有这个玻璃垫的加强热塑性塑料（GMT）可达到的最大焊缝应力与未填充材料的良好焊缝强度相当。对加强材料的优选热工具焊接参数跟未填充的材料不同。

参考文献

Gehde M, Giese M, Ehrenstein GW: Welding of thermoplastics reinforced with random glass matt. *Polymer Engineering and Science*, 37 (4), p. 702, April 1997.

聚丙烯

在对热工具焊接参数对聚丙烯板的对接焊缝强度的影响进行研究后，发现加热时间增长后，焊缝强度和加热位移量也会增加。增加加热压力会降低焊缝应力。增加转变时间会同时降低焊缝应力和焊接位移量。增加保压时间会增加焊缝应力；同时，增大焊接压力会降低焊缝应力。

参考文献

Lin TT, Benatar A: Effects of hot plate welding parameters on the weld strength of polypropylene. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

聚丙烯

此项研究以加热温度和加热时间对热工具焊接缝的微观组织的影响为焦点。因为聚丙烯是大晶体组织，在显微镜下可以很容易观察到，因此选用聚丙烯。目标是发现在加热板焊接中微观组织和焊接质量间的相关性。

焊缝周围的热影响区的特征在决定焊缝质量上起着显著的作用。通过与显微切片样本的显微照片及其拉伸强度相比较，对热影响区微观组织对焊缝强度的影响进行研究。在焊接交界面上出现较少不均匀情况的焊缝接头拥有更好的焊缝质量。可用高加热温度减少焊接循环周期。然而，在这种情况下，必须慎重选用加热时间，因为焊缝质量对加热时间的变化非常敏感。

参考文献

Nieh JY, Lee LJ: Morphological characterization of the heat-affected zone (HAZ) in hot plate welding. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

聚丙烯

在聚丙烯的热工具焊接中，以2mm（0.079in）的位移量可达到接近于母体材料的拉伸应力。一个重要方面是热浸时间，这个时间对得到高焊缝应力非常重要。理想情况下，焊接节点应尽量贴近接头接触面，且始终使接头接触面与加热元件保持接触。在到达位移节点后，用加热时间控制均热量。研究发现最适宜的加热时间是10~20s。不用位移限制器，在加热阶段将均热材料挤出，因此接头的应力很低。研究发现加热板温度是仅次于加热压力或

加热时间的重要参数。尽管大体上材料位移量随温度增加而增加，但当压板温度在 215 ~ 260℃（419 ~ 500℉）范围时，接头应力仍保持在 30N/mm^2（4350psi）。

接头融合阶段涉及两个工艺参数——融合压力和融合时间。融合压力影响材料位移量，位移量变化的主要部分发生在 2s 内。超过 5s 之后，融合时间对材料位移量或拉伸强度均未表现出明显的影响倾向。

参考文献

Watson M, Murch M: Recent developments in hot plate welding of thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

Solvay: Fortilene

热工具焊接可保证几乎 100% 的空气、水或灰尘密封，并发现在焊接聚丙烯电池盒中可使用。大部件（如冰箱或洗衣机的门）、小部件、不规则形状的部件，以及厚壁部分都能用熔融焊接。

参考文献

Fortilene Polypropylene Properties, Processing, and Design Manual, Supplier design guide, Soltex, 1981.

35.1.3 超声波焊接

聚丙烯

超声定位焊工艺是一种将聚丙烯双锁可重复使用紧固件与聚丙烯基材相连的连接方法，该方法有很多好处。超声波粘合方法提供非常强的，几乎是永久的粘合，这种粘合对温度和湿度条件相对来说不太敏感。根据每单位面积上定位焊的数目，可较容易地调节总焊缝强度。

参考文献

Kobe JJ: Ultrasonic bonding of 3M™ Dual Lock™ reclosable fasteners to polypropylene substrates. ANTEC 2006, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Charlotte, May 2006.

聚丙烯（形状：无纺纤维）

聚丙烯注吹超细纤维与由聚丙烯和聚酯纤维制成的纺粘的覆盖网结合，用于超声无纺切入焊接的试验研究。纺粘无纺纤维的主要用途是床上和家居装饰的地毯包装以及一次性服饰，包括尿布、卫生用品、耐用纸张和人造革。

有三种主要的超声波变量会影响粘合质量，即振动振幅、焊接时间和焊接压力。不同形状的焊接轮廓称为第四变量。

用中心组合的试验设计方法进行聚丙烯无纺纤维的超声切入式焊接。试验发现焊接压力对焊接强度的影响极小，而振动振幅和焊接时间对焊接强度有极其重要的影响。正负峰间值为 19.09μm（0.00075in）的振动振幅的焊接应力总是很低，而且会产生不充分的熔化和融合。正负峰间值为 35.53（0.0014in）的振动振幅的焊缝强度非常高，但会发现破坏和过多的纤维标记。研究发现，正负峰间值为 27.31μm（0.0011in）的振动振幅，其高焊缝强度（几乎高达 100% 振幅）和纤维的低破坏或不破坏间可达到一个很好的平衡。

参考文献

Ozaltun H, Benatar A, Nayar SK: Ultrasonic plunge welding of polypropylene nonwovens. ANTEC 2006, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Charlotte, May 2006.

聚丙烯

使用以下焊接参数的超声波焊接的热影响区的大小接近 120μm（0.0047in）：

焊接时间：1.5s。

保持时间：2.0s。

增压比：2∶1。

G-压力：275.8kPa（40psi）。

参考文献

Krishnan C, Toussant D, Benatar A: Comparison of weld morphology of polycarbonate and polypropylene for hot plate, vibration and ultrasonic welding. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

聚丙烯

粘合剂类型和浓度对聚丙烯中超声波焊接接头的应力有明确的影响。在热塑性塑料材料中使用粘合剂会导致部件刚度的增长，造成超声波焊接接头强度的增长，这归因于由于材料变硬造成的从电极臂到接头接触面的传递超声振动能力的增强。当粘合剂浓度水平变得非常高时，由于接头交界处处于熔化和焊接状态的热塑性塑料更少而降低了超声波焊接的强度。

数据始终显示，使用长玻璃纤维、短玻璃纤维和碳酸钙作为粘合剂的浓度接近于30%时，接头剪切应力最大。

矿物粘合剂的使用会引起超声波焊接接头的剪切强度等于或略高于大宗原料，当粘合剂浓度为30%时，剪切应力明显高达固有大宗原料剪切应力的118%。另一方面，使用加强型玻璃粘合剂所得的超声波焊接接头剪切强度比大宗原料小得多，例如，在含40%长玻璃纤维强化聚丙烯中，存在超过50%的应力损失。这种影响是可预见的，因为强化热塑性塑料比填充性热塑性塑料具备更高应力，但这种强化并没有改变超声波焊接接头接触面，因而导致在接头处的强度降低。

参考文献

Carlone MS: Ultrasonic weld shear strength of mineral filled and glass fiber reinforced polypropylene blends. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

泰科纳：Celstran聚丙烯（增强材料：长玻璃纤维）

超声定位焊的推荐用焊接参数如下：

焊接模具直径：4mm（0.16in）。

振幅：0.05mm（0.002in）。

超声暴露时间：1.2s。

焊接压力：0.25MPa（36psi）。

保持时间：3s。

表35.1给出了使用上述情况可达到的拉伸剪切应力。

表35.1 Celstran聚丙烯的超声定位焊接可达到的拉伸剪切应力

接头点数目	拉伸剪切应力/N（lbf）	
	厚度为3mm（0.12in）的上薄板	厚度为4mm（0.16in）的上薄板
1	2800（630）	3400（760）
2	4500（1010）	5200（1170）
3	6200（1390）	8200（1840）

参考文献

Celstran, Compel Long-Fibre-Reinforced Thermoplastics (LFT), Supplier design guide, Ticona, 2001.

聚丙烯（填料：20%滑石粉）

用20kHz的超声波塑料连接工艺对着色的滑石粉填充的聚丙烯进行了焊接性研究。试验设计为未着色样本建立一系列焊接情况基准，然后，反复对照着色样本进行比较。结果显示，聚丙烯通常是很难用超声波焊接将其连接的，即使是无需着色的结合表面。然而，在特定情况下，超声波可安全地用于焊接着色聚丙烯热塑性塑料树脂。

参考文献

St John M, Park JB: Ultrasonic weldability of painted plastics. ANTEC 1997, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Toronto, May 1997.

聚丙烯（形状：无纺纤维）

在无纺聚丙烯过滤器的焊接应用中，用超声波将过滤器的周边焊接以防止污染。因为无纺纤维的密度不均匀，问题是始终存在的。由于当材料熔化时会存在急速转变，当部件被焊接时，密度变动就会放大。在工艺过程的绝大部分阶段，可以保持相当稳定的功耗，但是当材料熔化时，即焊接的最后阶段，功耗会有很大的上升。如果焊接时间超出这一点，就会发生过焊，如果在到达这一点之前停止焊接，就不会发生熔合，合适的焊接时间范围非常窄。

当将振幅减小到事先调整的功率水平，功率曲线的斜率会降低。这能放慢工艺发生过程，并能控制材料的熔融，进而能带来耐受性更强的工艺和具有一致性/均匀的焊接。

参考文献

Grewell DA, Frantz JL: Amplitude control in ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

聚丙烯

为达到聚丙烯超声波焊接接头应力的最大值，工艺控制的处理器应考虑以下内容：

- 需要将焊接输入参数最优化值直接与部分可接受的标准联系在一起，无论拉拔强度、爆破强度、密封完整性还是其他参数。
- 当尝试优化工艺时，为达到最大接头强度，不应该依赖于移动距离、焊接能量或焊接时间。
- 以主要焊接力进行焊接时，可达到最大接头强度，然后切换到较低的焊接力。
- 在焊接周期中增加或减少振幅，对焊接强度没有积极的影响。
- 因为力的微小改变会对焊接强度产生极大的影响，所以对焊接力进行精确的闭环控制对焊接强度至关重要。

此外，为了使聚丙烯接头强度达到最大值，设计商不仅需要合适的接头设计，还需要采用较低的焊接力。

参考文献

Nayar SK, Cavaleri ME, Brostrom M: Morphological changes in ultrasonically welded polypropylene. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

聚丙烯

聚丙烯的远场超声波焊接并不成功。部件在焊头/交界面熔化，而导能器极少或不熔融。试验表明，对于半晶体聚合物来说，部件长度应足以使接头的接触面处在位移腹上，这通过

将顶部部件设计成半个波长来实现。这将使远场超声波焊接对半晶体聚合物像对无定型聚合物一样有效。

参考文献

Benatar A, Cheng Z: Far-field ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

聚丙烯

聚丙烯的近场超声波焊接非常成功。研究发现最初增加焊接压力会增加焊缝强度，但由于不理想的分子排列，应力的进一步增长会导致强度的降低。延长焊接时间会增加能量的耗散量和焊缝的强度；在焊接时间大于1.5s后，强度会呈平稳状态。较之非晶态聚合物来说，增加振动振幅更能增加能量耗散量和强度，在低振幅的情况下除外。

参考文献

Benatar A, Eswaran RV: Near-field ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

Doeflex 工业有限公司：聚丙烯（工艺类型：热压成型；形状：板材）

超声波焊接应该用于厚度超过0.5mm（0.02in）的薄板。

聚丙烯不像刚性、硬质聚合物（如聚乙烯）那样易于焊接，但是在使用高振幅、高能量源的情况下可达到较好的效果。然而，只可能进行近距离焊接，因为聚丙烯不能很好地传递超声波以实现远距离焊接。

参考文献

Thermoforming with Polypropylene and Polyethylene, Supplier data sheets, Doeflex Industries Limited.

聚丙烯（特征：5.8mm（0.228in）厚）

大多数烯烃纤维（编织的和无纺的）都具有良好的超声波焊接特性。

参考文献

Ultrasonic Sealing and Slitting of Synthetic Fabrics, Supplier technical report, Sonic & Materials, Inc.

35.1.4 振动焊接

聚丙烯（形状：3.2mm（0.126in）厚的注射成型薄板；填料：滑石粉）

选择用于汽车内部部件的七种不同的聚丙烯树脂来估计熔融流动速度（MFR）和滑石粉含量对焊接性的影响。

研究显示，较高的熔化距离和振动幅度会产生较高的焊接强度和伸长量。对总焊接强度来说，熔融流动速度不影响焊接强度水平。当滑石粉含量增加时，总焊接强度降低非常快。滑石粉含量为30%时的焊接强度比13%时的焊接强度少58%。

参考文献

Park J, Lewis D, Yoon CK: Vibration weldability study for automotive interior application polypropylene. ANTEC 2006, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Charlotte, May 2006.

朝日 Thermofil：聚丙烯（形状：2.5mm（0.1in）厚的注射成型薄板；增强材料：短玻璃纤维）；**LNP：Verton MFX-7006HS**（形状：2.5mm（0.1in）厚的注射成型薄板；增强材料：30%长玻璃纤维）；**LNP：Verton MFX-7008HS**（形状：2.5mm（0.1in）厚的注射成型薄板；增强材料：40%长玻璃纤维）

选择0.5mm（0.02in）和2.0mm（0.08in）的目标熔化量。焊接压力在1～5MPa（145～

725psi）范围内变化。频率和振幅（波峰到波峰）分别是211Hz 和1.78mm（0.07in）。

对与短、长玻璃纤维加强聚丙烯混合物来说，在纤维含量（质量分数）为30% ~40%的范围内，纤维含量的增高会降低焊接强度。长玻璃纤维加强聚丙烯混合物的焊接强度低于或等于短玻璃纤维加强聚丙烯混合物。短玻璃纤维加强聚丙烯混合物的焊接强度随着焊接压力的增加有少许的降低，而长玻璃纤维加强聚丙烯混合物的焊接强度随着焊接压力的增加有少许的增加。熔化量对短、长玻璃纤维加强聚丙烯混合物的焊接强度影响很小。

参考文献

Dai XY, Bates PJ: Vibration welding short-and long-glass fiber-reinforced polypropylene compounds. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

聚丙烯（形状：泡沫）

焊缝强度几乎等于发泡材料的基材强度。因此，由于发泡而引起的强度降低很大，也就是说，基材的强度对材料强度的影响与结合压力对接头强度的影响相比是很大的。振幅对焊缝强度的影响比结合压力的影响小得多。在低振幅和低压力下，基材的焊接速度和发泡材料的焊接速度不同。因此，将最大振幅作为决定发泡材料工艺的主要参数是非常重要的，以保证获得最高的能量输入和最短的循环周期。

已得到0.9 及其以上的焊接因子。

参考文献

Potente H, Wilke L: Welding thermoplastic foams. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

聚丙烯

使用以下焊接参数后，振动焊接的热影响区的尺寸接近于220μm（0.0087in）：

波峰到波峰的振幅：1.27mm（0.05in）。

压力：206.84kPa（30psi）。

焊接时间：4s。

参考文献

Krishnan C, Toussant D, Benatar A: Comparison of weld morphology of polycarbonate and polypropylene for hot plate, vibration and ultrasonic welding. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

泰科纳：Cels tran 聚丙烯（增强材料：长玻璃纤维）

振动焊接可得到优良的焊缝强度值。在以下参数下，长纤增强热塑性塑料聚丙烯可高达25MPa（3600psi）：

焊接压力：1MPa（145psi）。

焊接时间：5s。

焊接深度：2.0mm（0.08in）。

参考文献

Celstran, Compel Long-Fibre-Reinforced Thermoplastics (LFT), Supplier design guide, Ticona, 2001.

巴斯夫股份公司：纳瓦伦1100（形状：注射成型板）

在0.5 ~8.0MPa（70 ~1200psi）的结合压力条件下实施双轴振动焊接。焊透深度固定在1.5mm（0.059in）。线性和双轴（椭圆和圆形的）振幅为0.3 ~0.9mm（0.012 ~

0.035in）。

研究结果显示，振幅对界面层的温度影响非常大，而且，振幅和温度之间接近线性相关。通常，在线性和双轴振动焊接中，界面层的最大温度值不会超过基材的熔化温度（162℃，即324℉）20℃（36℉）。

在聚丙烯板的双轴振动焊接中，连接压力似乎对热状态没有较大影响。聚合物的粘度更重要，这非常容易理解：熔合容积率越高，在焊接平面上产生的热量更少。

压力自身的影响和在线性振动焊接中相同，机械连接的质量在载荷增加时在焊接因子接近1.0处开始下降。

接近基材强度的机械连接质量对双轴振幅来说是有可能的。

参考文献

Vetter J, Ehrenstein GW: Biaxial vibration welding of polypropylene. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

聚丙烯（形状：无规则长纤维GMT）

在用无规则GMT增强的聚丙烯中，纤维对增强振动焊接对接接头不起作用。GMT达到的最大焊接强度值与未填充材料在良好焊接状态下所得的焊接强度相当。高焊接压力和高振幅将导致低力学性能。最佳穿透深度取决于疏松材料中的纤维含量。这种渗透依赖性与未填充的热塑性塑料不同，因为一旦达到平稳阶段后，力学性能与渗透率就不再有关系。

参考文献

Gehde M, Giese M, Ehrenstein GW: Welding of thermoplastics reinforced with random glass matt. *Polymer Engineering and Science*, 37 (4), p. 702, April 1997.

巴斯夫股份公司：纳瓦伦1100L

在振动焊接工艺中，一旦达到平稳阶段，焊接的力学性能就与三种类型的构造集合相关。高压力（3.0MPa，即435psi）产生在杆件的中间和边缘部分不同的焊缝形态。中间部分的厚度大约是0.08mm（0.003in），在边缘部分，焊缝厚度扩大到约0.9mm的三角形物（delta）。这种扩大显示连接平面自身的特点在于光学明线。这条明线所附着的层的微观结构无法用缩微照片定义，变形球晶薄层形成了这层到母体材料的过渡。在焊接压力为2.0MPa（290psi）的情况下观测这些焊缝的拉伸强度，显微切片显示，焊缝大约0.07mm（0.003in）厚，而且没有出现焊缝朝向的三角区。这些焊缝显示的次序是微观结构层、连接面、无微观结构的内层和由变形球晶形成与母体材料连接的过渡层。

低连接压力（0.5MPa，73psi）下形成的焊缝显示三种微观结构区——第一个区域是内层，第二个区域是所谓的由不同尺寸球状构成的重结晶区，第三个区域是变形球状微晶体的过渡区。与两种其他类型相比，整个焊缝的厚度大约有三倍大。这些焊缝的拉伸强度很高。

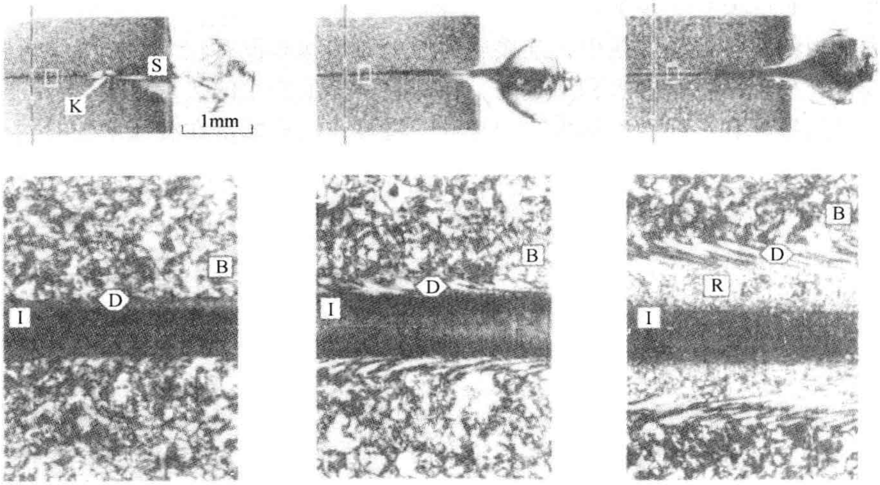
参考文献

Giese M, Ehrenstein GW: Studies of the deformation and failure behavior of vibration welded polypropylene welds. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

巴斯夫股份公司：纳瓦伦1100L

振动焊接研究结果显示，高振幅和高焊接压力会缩短焊接时间。然而，除了到达焊接周期的第三阶段（在这个阶段，熔化达到了一个平稳阶段，渗透随时间线性增长直到振动停止），焊缝的冲击强度非常低。可通过对微观结构的分析确定焊缝的力学性能（见图35.1）。

仅包括两层的焊缝（内层和变形球晶带），无论有无三角形区域，所得的冲击强度都不是令人满意的。只有当焊缝具备三层不同的微观结构层和较大的焊缝厚度时，可具有高的耐冲击性。如果振动停止在第三阶段而焊接压力低，则无论振幅大小，均会产生这些焊缝。



a) b) c)

图 35.1 聚丙烯均聚物的三种典型类型振动焊接的微观结构偏振镜照片。在位于上半部的微观照片中，高压力导致焊接厚度区域从大约 50μm（0.002in）逐渐增长到 1mm（0.04in）；在 *K* 点，高压力引起熔接区的熔流从层流转变到湍流。在压力较低时，该区域并没有呈现出更大的焊接厚度。在微观照片的下半部，高压力焊缝（8.0MPa，即 1160psi；2.0MPa，即 290psi）在两个区域中从母体材料（B）中分离出来——内层（I）邻近连接板和变形球晶层（D）。低应力焊接（0.5MPa，即 73psi）由三个区域组成——内层（I），不同球晶的中间层（R）和变形球晶的第三层（D）。
a）焊接压力是 8.0MPa（1160psi） b）焊接压力是 2.0MPa（290psi） c）焊接压力是 0.5MPa（73psi）

参考文献

Schlarb AK, Ehrenstein GW: The impact strength of butt welded vibration welds related to microstructure and welding history. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, 1989.

聚丙烯

一家大型美国电气设备公司将其玻璃填充聚丙烯洗碗机水泵外壳的生产线从加热板焊接转变成振动焊接。这种改变使生产操作变得更快、更容易、更节能，也更容易维护设备。同时也能更好地实现对产品的强度和外观控制。

与加热板焊接相比，这种工艺需要更少的人力投入。使用加热板焊接，需要两个焊接工三班工作和第三个焊接工一半的时间。在部件允许冷却时间内在独立站上必须进行渗漏试验。另外，在工艺中产生的废气需要排气系统排出。

采用振动焊接无需考虑这些问题。一个振动焊接焊工可以代替两个加热板焊接工。一个紧邻着振动焊接焊工安装的检漏器让操作工可在组装后立即检测部件，而下一部件正在进行焊接。无需冷却时间，因为振动焊接不必加热部件。尽管水泵外壳的半件经模具成型会发生翘曲，但由于在焊接前部件在压力条件下已被夹紧，成品的翘曲量已被最小化。循环时间在加热板焊接时是 30s，在振动焊接中减少到 10s，包括试验时间。

除了由加热板焊接转变为振动焊接外，水泵外壳的设计保持不变。

在对能量消耗的研究中，制造商发现，振动焊接每年仅需要2622kW·h的电力；与加热板焊接中甚至还没有进行焊接前保持温度就需要的38000kW·h相比节省极大。振动焊接仅在焊接周期中需要能量。

参考文献

White P：Vibration welding. *Making It With Plastics*, trade journal, 1987.

35.1.5 热气体焊接

聚丙烯（形状：薄板）

聚丙烯推荐使用下面的焊接条件：

焊接温度：280～330℃（536～626℉）。

焊接压力（直径为4mm（0.16in）的焊条）：25～35N（5.6～7.9lbf）。

气流速度：40～60L/min。

参考文献

Gibbesch B：Thermoplastic inliner for dual laminate constructions. Welding Beyond Metal：AWS/DVS conference on Plastics Welding, New Orleans, March 2002.

35.1.6 激光焊接

聚丙烯（填料：20%滑石粉；形状：注射成型T形管）

在作为传输层材料的烯烃热塑性塑料弹性体和作为吸收材料的滑石粉增强聚丙烯上进行激光焊接试验。激光的波长为940nm，功率输出为10～50W，扫描速率为10mm/s（0.39in/s），点的直径为1.0mm（0.039in）；焊接压力为0.4MPa（58psi）。

将一种传输用的黑着色剂混合到传输层材料中，会比没有粘合剂时产生更好的焊接强度，因为着色剂会阻止吸收层树脂中产生过多的热量。

参考文献

Isoda A, Hatase Y, Nakagawa O, Yushina H：Laser transmission welding of colored thermoplastic elastomers and hard plastics. ANTEC 2006, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Charlotte, May 2006.

聚丙烯

在试验中使用透明炭黑颜料着色板，这些着色板厚度为2mm（0.079in），长为78mm（3.1in），宽为20mm（0.79in）。搭接区约为10mm（0.39in）。激光束的圆形焦点直径为2mm（0.079in），改变电能和进给速度产生了107～759J/m的线能量。

与经过21h的储存期才可看到的线能量相比，短期拉伸力最大值在10min内已有相当大的增长。这可以从激光束局部增温引起的残余应力中得到。在储存期中，即使处在环境温度下，弛豫过程的残余应力也会减少。

参考文献

Vetter J, Duriau-Montagne F, Ehrenstein GW, Hänsch D：Morphology and thermal loading in laser welding of thermoplastics. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

聚丙烯

低功耗CO_2激光可在高速度（50m/min，即165ft/min）时以搭接形式和切割/密封形式连接薄塑料板（<0.2mm，即0.008in）（见表35.2）。激光焊接应用于高速封装，其中非接

触、灵活的计算机控制系统要优于超声波、电介质和热密封技术。钕钇石榴石激光 Nd：YAG 具有短波的低吸收能力，有用于以搭接和对接的接头结构形式焊接厚度范围为 0.2～2.0mm（0.008～0.08in）塑料的潜力。其优点包括扭曲低和总热量耗费低。钕钇石榴石激光 Nd：YAG 对塑料材料熔融的区别和着色效应的影响要进行进一步检验。

表 35.2　聚丙烯接头的激光焊接条件和拉伸性能概要

材　料			激光条件			拉伸性能	
类型	厚度/mm（in）	接头类型	类型	功率/W	速度/m/min（in/min）	母体材料百分数	失效方式
聚丙烯	0.2（0.008）	搭接	CO_2	100	51（167）	98	母体材料
基丙烯	0.2（0.008）	搭接	钇铝石榴子石	80	0.2（0.7）	70	焊缝
聚丙烯	0.2（0.008）	对接	钇铝石榴子石	80	0.1（0.3）	30	焊缝

参考文献

Jones IA, Taylor NS: High speed welding of plastics using lasers. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, 1994.

聚丙烯

在最佳焊接条件下，聚丙烯的激光焊接制造的接头的强度为 33.3MPa ± 0.7MPa（4380psi ± 100psi），其伸长量与母体材料相同。在这些情况下，失效容易在焊缝外区域发生。在已研究的焊接参数（功率，样本齿顶曲面上从焦点偏移的光束，保护气体流速，焊接压力和移动速度）中，激光束偏移量（功率密度）和焊接压力对接头强度产生明显的影响。在对最大偏移量进行试验时，增加光束的偏移量并降低功率密度可以自始至终地增加接头强度。对聚丙烯来说，存在达到最高接头强度的最佳压力。只要能在接触面上切割一个开口，功率、移动速度和保护气体流速对接头强度的影响就会非常小。通常，聚丙烯的激光焊接非常快，而且不需要焊前预处理。

参考文献

Ou BS, Benatar A, Albright CW: Laser welding of polyethylene and polypropylene plates. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, 1992.

35.1.7　红外线焊接

聚丙烯（形状：压力槽；增强材料：玻璃纤维）

已经将红外线焊接应用于制造复合压力槽中的接头，这些接头的强度比用玻璃纤维增强聚丙烯制造的透明筒体的强度高得多。

焊机的核心部分由每列六个短波红外线发射器（1.6kW）排列而成。这六个短波红外线发射器是固定的，在可动板的任何一边都受弹簧作用力。操作时，将两个直径均为 140mm（5.5in）的半筒体装入机器，然后将两个匹配的顶部筒体放置在适当的位置，并在底部半筒体的正上方直接保持吸力。

当手动按下开始按钮后，所有的四个半筒体部分被牢牢固定住，将可动板推进到其工作位置，位于对面筒体的平头端之间，并关掉动力。然后红外线发射器将对应的平头端暴露在红外加热下约 40s，直到达到熔合温度，且切边周围都被软化。然后，撤回可动板，关闭动力，在压力作用下将平头端聚集在一起以影响焊缝。

已经证实红外线技术获得的焊接强度非常好，在约2800kPa（28bar，406psi）压力的爆破试验下，发现在焊接接头被破坏之前筒体已被破坏。

参考文献

Bartley I: Infra-red welding. *Advanced Composites Bulletin*, p. 8, July 2001.

聚丙烯

已针对焊接参数对聚丙烯无接触加热板对接焊的影响进行了研究。对给定的加热板温度，研究发现了最佳加热温度和锻透时间。增加或减少加热时间和/或加热压力的最佳值都会降低接头强度，增加锻透时间可改善接头强度。在锻透阶段应用了一种“推和拉”技术以减少不利的分子取向。该技术如下：先在1s内施加约200N（45lbf）的推力，随后在“拉力”阶段将焊接力减少到0。

参考文献

Lin TT, Staicovici S, Benatar A: Non-contact hot plate welding of polypropylene. ANTEC 1996, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Indianapolis, May 1996.

聚丙烯

红外线焊接比加热板焊接快，接头强度等于母体材料强度。对于加热板焊接来说，所需的加热时间为40s，转换时间为0.8s，焊接时间为40s，接头强度达到母体材料强度的80%。对于红外焊接来说，所需的加热时间为11s，转换时间为0.8s，保持时间为11s，接头强度达到母体材料强度（33MPa，4800psi）。因此，加热板焊接总循环时间为80s，而红外焊接总循环时间仅为23s。

存在最佳加热时间和最佳加热压力以达到最高接头强度。减少或增加加热时间和焊接压力的最佳值均会降低焊缝强度。对于最佳焊接来说，转换时间应尽可能短。增加加热距离能降低表面能量密度的影响，从而延长加工时间。在焊接区产生的微观结构与在加热板焊接中观测到的相似。焊接区可划分为三个区域——母体材料区域、流动区域和焊缝中心的微小球晶区。总之，红外焊接可以在非常短的加工周期内制造出极好的接头。

参考文献

Chen YS, Benatar A: Infrared welding of polypropylene. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

聚丙烯

试验显示，可以使用一系列的焊接参数以达到最好的焊接质量，其中熔融深度和连接距离是决定性参数。熔融深度由进入接头的能量确定，这是由加热器的特性、温度、暴露时间、焊接部件的几何体和熔融聚合物等因素混合作用的结果。

在高级红外焊接上进行的机械测试显示，在 -40℃（-40℉）下进行测试时聚丙烯的焊接因子可达0.9以上。

参考文献

Taylor NS, Klaiber F, Wermelinger J: Assessment of PP and PVDF joints made by a new infrared jointing system. ANTEC 1993, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New Orleans, May 1993.

35.1.8 电阻植入焊

Himont：聚丙烯（增强材料：玻璃纤维）

研究已表明使用耐热熔化胶合连接玻璃增强聚丙烯的适用性。焊接区域的C型扫描和

微观照片显示了大部分焊接区域的一致性，体现了各种不同的工艺条件。在少于2min的处理时间内，可得到17.0MPa（2470psi）剪切强度。

可初步建立耐焊玻璃增强聚丙烯接头的工艺-性能关系。即使在发热器（胀接不锈钢薄片）和高聚物间只有极少的或没有粘合剂的情况下，相对低的压力、温度、功率级和处理时间都可产生强的连接。可从搭接剪切数据中推测出工艺和性能间的关系。正如C型扫描和最佳微观照片所揭示的那样，在温度高于熔融温度的10%～15%时，低功耗、低压力和短保压时间可得到均匀一致的焊缝。在单头搭接结构中，这些工艺条件足以促进母体材料的失效而远离其表面。梁座剪切试验证实了这一发现，同时发现加热器的处理非常重要。

参考文献

McBride MG, McKnight SH, Gillespie JW: Joining of short fiber glass reinforced polypropylene using resistance heated fusion bonding. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

35.1.9 感应焊接

聚丙烯（材料组成：40%纤毡）

用含40%纤毡复合材料和聚丙烯基材一起来制造旅行车的结构货厢地板（见图35.2）。最初，和钢负荷地板相比，玻璃毡席复合材料取代了印钢，在振动试验中减少了重量并降低了噪声。货厢底板在82.2℃（180℉）时必须经受2.107kg/m^{2}的静载荷，且偏移量不能超过1in。成品也必须承受15°的扭矩试验而不发生粘着力破坏。为达到这些要求，需要进行两个部分的连续焊接。

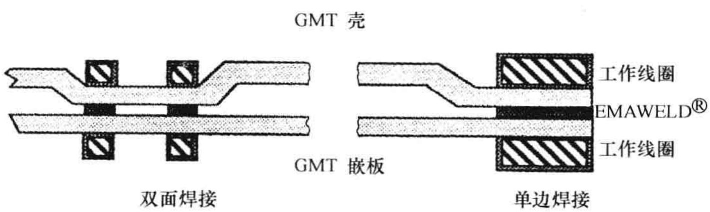


图35.2 用于旅行车货厢地板的含40%纤毡聚丙烯基体结构。

为达到必要的结构焊缝，在纯平面板和带肋薄壳中使用EMA复合材料是非常重要的。当聚丙烯被加入焊接接触面后，就克服了玻璃毡席复合材料中与高玻璃纤维相关的困难。实际上EMA材料和玻璃连接到一起，并焊到聚丙烯基体的周围。EMA材料在压力下熔化并流动时，表面不规则处被填充。由此产生的焊接在两个需连接制件中形成均匀一致焊缝结构。

聚丙烯可能是在EMA工艺中最容易焊接到一起的热塑性塑料。目前，EMA工艺用在许多聚丙烯应用中。一种特殊的应用是将两片聚丙烯茶壶元件焊接到一起，将EMA工艺用于这一特殊应用是有原因的。美感对选用EMA工艺起到了关键作用。EMA工艺可提供比加热板焊接更好的美感和制件配合，这是通过使用完全包含接头的使用标准来达到的。运用EMA工艺产生的夹具提供了100%精确的部件定位。显然，这种类型的运用的可靠性是非常重要的。EMA工艺具有近100%的可重复性和近100%的密封可靠性。在这种情况下，EMA工艺提供了迅速的加工时间——11s。

参考文献

Chookazian SM：Electromagnetic welding of thermoplastics and specific design criteria with emphasis on polypropylene. ANTEC 1994，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，San Francisco，May 1994.

索威公司 Solvay：Fortilene

电磁焊接适用于自动化和生产结构上密封的或高压力的焊接。这种工艺适用于聚丙烯，并具有如下一些优点：

- 结合尺寸能在从一个小点到长的连续的焊缝之间变化。
- 由于注射成型或热收缩引起的不规则接头表面不影响焊缝。
- 不需要对称的结合区域。

参考文献

Fortilene Polypropylene Properties，Processing，and Design Manual，Supplier design guide，Soltex，1981.

35.1.10 热封

东洋：聚丙烯（形状：厚度为20μm（0.0008in）的取向薄膜和厚度为25μm（0.001in）流延膜，层合）

在这次研究中使用的塑料薄膜是定向聚丙烯（OPP）和流延聚丙烯（CPP）。在达到设置温度的非常短的时间内，可观察到热封温度的升高。温度的升高持续了0.1s，然后在5.0s内降低到了室温。在热封过程中，压力保持在0.42MPa（61psi）。热封零件的宽度为10mm（0.39in）。在十字头上进行的180°剥离试验以1mm/min（0.04in/min）的速度行进50mm（2in）的测量长度。在14.7N、13.7N和12.8N（3.3lbf、3.1lbf和2.9lbf）的外加载荷下，在垂直方向上的剥离试验还在蠕变加载下进行，并测量了样本破裂的时间。

热封零件的静剥离强度与薄膜方向，即纵向或横向无关。在170℃热封的样本所具有的静剥离强度稍微高于在130℃（266℉）和150℃（302℉）时的剥离强度。在蠕变加载时，在所有试验样本中，在1700℃（338℉）时热封的横向样本表现出最高的蠕变特性。

参考文献

Nishikawa Y，Fujita Y，Pivsa-Art S，Nakai A，Kotaki M，Hamada H：Fracture behavior of heat-sealed PP films under static and creep loadings. ANTEC 2006，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Charlotte，May 2006.

聚丙烯（形状：厚度为20μm（0.0008in）的取向薄膜和厚度为25μm（0.001in）的流延膜，层合）

研究针对采用脉冲式热封机械制造的定向聚丙烯（OPP）和流延聚丙烯（CPP）热封口的热封零件失效标准进行。在密封工艺中，在达到设置温度的非常短的时间内，可观察到热封温度的升高，在这个周期内，温度的升高持续了0.1s，然后在5.0s内降低到室温。

根据热封温度确定的切口强度显示，和纵向（MD）相比，横向（TD）的密封面比较强，这是定向方向。在密封温度高时，和定向聚丙烯薄板的损耗一起，力学性能一直维持在最小值。试验认为最弱的部分紧邻热封口的外边。

参考文献

Ishiaku US，Hashimoto Y，Tetsuya T，Hamada H：Effect of heat sealing temperature on the fracture aspects of OPP/CPP seal. ANTEC 2005，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Boston，May 2005.

Doeflex 产业：聚丙烯（工艺类型：热压成型；形状：薄板）

有时需要在聚丙烯粘合剂上开一个明口，最理想的紧固方法是热工具焊接。

在简单压力支撑的加热铜器械辅助下，通常使用厚度在 150 ~ 250μm（0.006 ~ 0.010in）范围的聚丙烯薄板。应调整温度、时间和压力以获得良好的密封而避免引起过多流动，热工具焊接过程对于 0.5mm（0.020in）以上的薄板来说非常缓慢。

开小明口，手压、150 ~ 180℃（302 ~ 180℉）的温度和 2 ~ 5s 的时间均是获得令人满意的结果的条件。

参考文献

Thermoforming with Polypropylene and Polyethylene, Supplier data sheets, Doeflex Industries Limited.

35.1.11 搅拌摩擦焊接

聚丙烯（形状：厚度为 6mm（0.24in）的消除应力挤塑板）

搅拌摩擦焊接试验需要用加热模板进行，这给了系统足够的热能量以彻底地形成焊接接头。

结果显示，为使对聚合物结构的影响最小，必须在低进给速率（5 ~ 10cm/min，即 2 ~ 4in/min）、高模板温度（>160℃，即 320℉）、较长的压力时间（>90s）和大探针直径（9mm，即 0.35in）的条件下进行焊接。通过正确验证的焊接必须具有以下特征：

- 在焊缝和基材处的球粒尺寸和方向相同。
- 在焊缝区不存在明显的流纹或旋纹。
- 在焊缝/基材边界存在一个窄长的变化球粒取向区域。

如果出现这些特征，焊缝区的微观结构将近似于基材，而且能够有效地传输任意的外加应力。

参考文献

Strand S, Sorensen CD, Nelson TW: Effects of friction stir welding on polymer microstructure. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

聚丙烯

已证实聚丙烯的搅拌摩擦焊接是可行的连接工艺，其拉伸强度是基材强度的 98%。

焊接热塑性塑料需要借助于带有固定模板而不是旋转轴肩的特殊工具，该模板需可控制温度来优化摩擦搅拌焊过程。这种带有平头销的工具不是合格的螺纹工具，但它带有的笔直锥形销很有效果。

对于热塑性塑料的搅拌摩擦焊接来说，机床主轴速度似乎是最主要的工艺参数。

参考文献

Sorensen CD, Nelson TW, Strand S, Johns C, Christensen J: Joining of thermoplastics with friction stir welding. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

35.1.12 粘合剂连接

聚丙烯

针对真空等离子预处理对聚丙烯粘合剂强度的影响进行了研究。采用的两种高强度环氧粘合剂是 Eccobond 2332（一种单组分粘合剂）和 Eccobond 45W1（一种双组分粘合

剂)。Eccobond 2332 在120℃ (248℉) 时固化需要1h, Eccobond 45W1 与 Catalyst 15 按1:1 的比例混合,在室温下固化需要24h。等离子处理样本在等离子处理后一天之内胶合在一起。

结果显示,与未处理样本相比,真空等离子预处理样本的粘合强度要高十倍。

参考文献

Lippens P: Vacuum plasma pre-treatment enhances adhesive bonding of plastics in an environmentally friendly and cost effective way. Joining Plastics 2006, Conference proceedings, London, UK, April 2006.

希蒙特:聚丙烯 Profax 6323

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验(ASTM D4501)进行测试,因为它将负载作用在样品较厚的部分,因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外,由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响,连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm (1in×1in×0.125in) 的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm (0.03in),横向速度为0.25mm/s (0.1in/s) 的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表35.3中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响,但仍存在一些局限性。例如,人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料,因而选择它们,但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多,并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外,在表35.3中的添加剂和填料都是单独进行测试的,因此,便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表35.3 采用乐泰公司的粘合剂对 Profax 聚丙烯与聚丙烯进行粘接的剪切强度

[单位:MPa (psi)]

材料成分	乐泰粘合剂					
	Black Max 380(瞬间粘合剂,橡胶增韧)	Prism 401(瞬间粘合剂,表面钝化)	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414(瞬间粘合剂,通用)	Depend 330(双组分,非混合型丙烯酸)	乐泰3105(光固化粘合剂)
非填充树脂5rms	0.3 (50)	0.3 (50)	>13.5[①] (>1950[①])	0.3 (50)	1.4 (200)	0.7 (100)
粗加工的26rms	0.3 (50)	13.5 (1950)	9.0 (1300)	1.4 (200)	1.4 (200)	3.1 (450)
抗氧化剂0.1%抗氧剂1010, 0.3%杀螟腈STDP	0.3 (50)	13.5 (1950)	>13.5[①] (>1950[①])	0.3 (50)	1.4 (200)	0.7 (100)
UV稳定剂0.5%光稳定剂UV-531	0.3 (50)	0.3 (50)	>13.5[①] (>1950[①])	0.3 (50)	1.4 (200)	0.7 (100)
冲击改性剂9% Novalene三元乙丙橡胶	0.3 (50)	9.3 (1350)	>13.5[①] (>1950[①])	1.4 (200)	1.4 (200)	0.7 (100)
阻燃剂9%聚乙烯-68, 4%氧化锑	0.3 (50)	0.3 (50)	>13.5[①] (>1950[①])	0.3 (50)	1.4 (200)	1.7 (250)
防烟剂13%防火墙硼酸锌	0.3 (50)	0.3 (50)	>13.5[①] (>1950[①])	0.3 (50)	1.4 (200)	0.7 (100)
润滑剂0.1%硬脂酸钙	0.3 (50)	0.3 (50)	>13.5[①] (>1950[①])	0.3 (50)	1.4 (200)	0.7 (100)
填充剂20% Cimpact 600滑石粉	0.3 (50)	0.3 (50)	>13.5[①] (>1950[①])	0.7 (100)	1.4 (200)	0.7 (100)

（续）

材料成分	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/ Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
着色剂 0.1% 汁液红 RT-428-D	0.3（50）	0.3（50）	>13.5①（>1950①）	0.3（50）	1.4（200）	0.7（100）
抗静电 0.2% Armostat 475	0.3（50）	1.4（200）	>13.5①（>1950①）	1.4（200）	1.4（200）	0.7（100）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 由于块状剪切试样的严重形变，试验在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就停止了。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：将 Prism 401 瞬间粘合剂和 Prism Primer 770 结合使用，可以在聚丙烯上达到最高粘合强度，甚至与使基底失效时的强度相媲美。乐泰 3030 粘合剂（聚烯烃粘合剂）可达到相应的强度，但不能达到基体失效的程度。Hysol 3651 热熔粘合剂（以聚烯烃为基础）所获得的强度位居第三。所有其他试验的粘合剂在未灌注的、未磨损的聚丙烯上表现很差。

表面处理：将 Prism Primer 770 和 Prism 401 瞬间粘合剂结合使用，或者将 Prism 4011 医疗设备瞬间粘合剂和 Prism Primer 7701 同时在聚丙烯上使用，可以引起粘合强度显著的增长，尤其是基体失效时。表面粗糙化对于聚丙烯所达到的粘合强度或者没有影响，或者引起显著的增长。

其他信息：聚丙烯与所有乐泰粘合剂、密封胶、底胶和催化剂都相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

聚丙烯

可使用厌氧胶、腈基丙烯酸酯、UV、环氧基树脂和结构聚丙烯粘合剂对聚丙烯进行粘合。对腈基丙烯酸酯粘合剂使用对辛基本酚底胶。对其他粘合剂通过火焰、电晕或等离子体处理设备进行表面处理。

参考文献

The Engineers Guide to Adhesives, Supplier design guide, Permabond Engineering Adhesives.

赫斯特股份公司：Hostacom（增强材料：玻璃纤维）

由于赫斯特公司的聚丙烯基材的优良耐化学性，在室温下与溶剂接触的模制品表面没有发生侵蚀，只能使用压感粘合剂，除非表面进行了预处理。表面预处理会对接头强度产生相

当大的改善。可通过如下不同的方式进行：

- 处理剂（如赫伯兹（Herberts）R47 509）。
- 用富含氧气的燃烧器进行火焰处理。
- 表面放电处理（电晕）。
- 浸泡在铬酸硫酸浸蚀液中。

适用于赫斯特 Hostacom 聚丙烯制造的粘合部件的粘合剂系列见表 35.4。

表 35.4 适用于赫斯特 Hostacom 聚丙烯制造的粘合部件的粘合剂系列

粘合剂类型	主要成分（基础）
压感粘合剂	压感粘合剂溶液
	压感粘合剂分散体
接触粘合剂	合成橡胶，聚氨酯
双组分粘合剂	环氧基树脂，聚氨酯，酚醛树脂/合成橡胶
热熔粘合剂	乙烯共聚物

参考文献

Hostacom Reinforced Polypropylene, Supplier design guide (B115BRE9072/046), Hoechst AG, 1992.

35.1.13 机械固定

聚丙烯（增强材料：40% 长玻璃纤维）

热空气粘合的总周期比超声铆接法长。与超声铆接的 15s 相比，热空气粘合需要的时间长，接近 30s。这两种技术都有相似的焊接力（<1000N，即 225lbf）。由于纤维保持成型操作，热空气粘合接头表现出的承载性能比超声铆接法高 50% ~90%。

参考文献

Hahn O, Finkeldey C: Ultrasonic riveting and hot-air-sticking of fibre-reinforced thermoplastics. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

壳牌化工：壳牌 KM6100

这项研究的主要目的是回答一个问题——时间推移对聚丙烯成型螺纹铜嵌入件的保持力产生怎样的影响？针对这个问题，样本应是带有嵌入插件的注射成型制品，这些样本需要进行 1h、10h、50h、100h、200h、500h 和 1000h 的拉伸试验。

结果显示抗拉能力随着时间的增加而增加（从 1h 的 2110N（474 lbf）增加到 1000h 的 2435N（547 lbf）），时间较短时，变化最大。并且随着时间推移的增加，抗拉能力的改变会变小。预期的阻力增加到某一点后就能趋于平稳。然而，在 1000h 的时候，数据并没有清晰地显示出反射点。收缩效果延续至延长周期。这可能会减轻一些在成型和试验之间统一等待 40h 的疑虑——这在几个 ASME 试验中是很普通的。

参考文献

Lokensgard E: Time lapse effects on pull-out resistance of threaded inserts in polypropylene. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

35.2 聚丙烯均聚物

35.2.1 热工具焊接

聚丙烯均聚物（形状：管材）

在表35.5中给出推荐的聚丙烯均聚物管道的插口熔焊的参数。

表35.5 推荐的聚丙烯均聚物管道的插口熔焊的参数

管道外径/in	加热时间/s		最大转换时间/s	冷却时间	
	SDR11	SDR17.6		固定时间/s	总时间/min
3/8	5		4	6	2
1/2	5		4	6	2
3/4	7		4	10	2
1	8		6	10	4
$1^{1/4}$	12		6	20	4
$1^{1/2}$	12		6	20	4
2	24	10	8	30	6
21/2	30	15	8	30	6
3	40	22	8	40	6
4	50	30	10	50	8
$4^{1/2}$	60	35	10	60	8

注：标准尺寸比SDR=外径/壁厚。

热工具温度应是250~270℃（482~518℉）。

参考文献

Frank T: Heated tool welding of thermoplastic pipes (example polyolefins). AWS/DVS conference on Plastics Welding, Orlando, October 2000.

英国化学工业公司：GWM22（形状：注射成型国际标准型拉伸试样）

应使用以下加热板焊接条件：

加热板温度 T：190~290℃（374~554℉）。

加热时间 t：20~100s。

焊接位移 d：0.35~1.0mm（0.014~0.039in）。

熔融区的深度（L_0）是由试验棒外表面到能限制再结晶区的小球晶序列的距离来决定的。

当熔融位移值 RMD（$=d/L_0$）在0.38~0.75范围内变化时，焊接特性达到最大值。界面温度也会影响焊接质量；研究针对于焊接参数的设置进行，当条件为 $T=240$℃（464℉）、$t=50$s、$d=0.35$mm（0.014in）或 $T=265$℃（509℉）、$t=20$s、$d=0.35$mm（0.014in）时，焊接能达到较好性能。

参考文献

Oliveira MJ, Bernardo CA, Hemsley DA: Morphology and mechanical behaviour of polypropylene hot plate

welds. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

聚丙烯均聚物（形状：12mm×0.6mm（0.47in×0.024in）的捆扎带）

在温度为340～490℃（644～914℉）时，使用半自动捆扎机来焊接带条。完整的焊接周期是1.4s。

结果显示焊接温度严重地影响着焊接特性。对于大部分带条来说，应把最佳焊接工具温度设置在430℃（806℉）附近。通常焊缝的微观组织非常细微，呈现出比带条更低的取向。460℃（860℉）或更高的焊接温度会使焊接区域的质地变得粗糙，并加剧接头处焊缝间隙和裂口的产生。

焊接温度影响焊缝的断裂路径。焊接温度低于最佳温度时，断裂会沿着其中一个接触面扩散；在最佳范围内，断裂在两个接触面间交替发生；在高于最佳温度时，断裂通常会远离焊接区域。

条带的取向会影响焊缝的形态。取向的增加会减少焊缝区域的厚度并促进焊接间隙的形成。焊接效率会随取向的增加而降低。

参考文献

Oliveira MJ, Hemsley DA: Orientation effects on the weldability of polypropylene strapping tape. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

35.2.2 超声波焊接

蒙特尔：6323（形状：注射成型AWS超声波焊接试验样条；增强材料：碳酸钙、滑石粉、云母、玻璃纤维）

这项工作的目标是研究含不同种类填料的聚丙烯混合物在超声波焊接中的强度区别。

对未填充聚丙烯样本的焊接参数进行优化。焊接时间对焊缝强度的影响最大。随着焊接时间的增加焊缝强度增加，直到达到稳定状态，其后再次增加焊接时间不能提高强度，或许还可能使其轻微降低。未填充聚丙烯的最佳焊接时间为0.25s。焊接力使未填充聚丙烯的强度增加，并在焊接力为240N（54lbf时达到稳定状态，随后继续增加焊接力并不能增加焊接强度。探测力对焊接强度几乎没有影响。振幅的增加导致未填充聚丙烯焊缝强度的增加。

据观察，未填充聚丙烯的焊接强度最高，然后是碳酸钙填充混合物和玻璃填充混合物。滑石粉填充混合物和云母填充混合物的焊接强度最低，这是由于碟状微粒可能获得平行于焊接机方向上的取向，同时也干扰了焊接表面聚合物链的扩散。

聚丙烯填充物的添加影响焊接强度和断裂的伸长量。对于每种填料类型来说，增加填料含量通常会降低焊接强度和伸长量。上述现象归因于接触面处焊接可用聚合物的低体积分数。填充粒子阻止聚丙烯本身的结合。在对母体材料样本和焊接样本的拉伸试验中，发现填充物的添加会伴随着拉伸量的降低，这是由于当填料水平升高时混合物获得了易碎特性。当样本呈现出最大拉伸量时，通常可观察到最高的焊接强度。

参考文献

Sancaktar E, Walker E: Effects of calcium carbonate, talc, mica, and glass-fiber fillers on the ultrasonic weld strength of polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 94 (5), p. 1986, December 2004.

35.2.3 振动焊接

巴赛尔：Pro-fax 6331（形状：3.2mm（0.126in）厚的注射成型板，增强材料：有机粘土）

聚丙烯均聚物分别与0%、3%和6%（质量分数）的有机粘土混合。在焊接频率为211Hz、峰间振幅为1.8mm（0.071in）时，用机器将厚度为3.2mm（0.126in）的板的尺寸制成50mm×100mm（2in×4in）。焊接压力在1～4MPa范围内变化，且目标熔融量在1～3mm（0.04～0.12in）范围内变化。

结果显示，添加到聚丙烯基体上的有机粘土材料会引起焊接强度的降低。在试验中观察到每增加3%的有机粘土，焊接拉伸强度会降低近25%，这是由焊缝处粘土片晶的排列引起的。相对于有机粘土含量的影响，焊接条件对焊接强度的影响非常小。熔融压力增高4倍时，会引起焊接强度10%的增长。未观察到熔融量对焊接强度的明显影响。

参考文献

Bates PJ, Braybrook C, Kisway T, Tucker B, Gopakumar TG, Pagé DJYS, Wu CY: Vibration welding polypropylene-based nanocomposites. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

35.2.4 挤压焊接

聚丙烯均聚物（形状：薄板）

在厚度为10mm（0.39in）和20mm（0.79in）的对接接头和T形接头上的试验结果基础上，同时对每种接头的力学性能进行了研究，聚丙烯均聚物挤压焊接的最佳参数如下：

填充材料的塑化温度：240℃（464℉）。

焊接槽塑化时空气温度：250～275℃（482～527℉）。

3mm（0.118in）直径焊条的进给速率：222～235cm/min（7.28～11.00ft/min）。

为了生产出合格的接头，要焊接的薄板必须开坡口，且应以焊槽角度为90°的方式进行。形成重叠的形状和尺寸须与焊槽的形状和尺寸相容。

厚度为20mm（0.79in）的聚丙烯对接接头在焊缝的中间部分含有均匀分布的焊接空隙。这些空隙沿着整条焊缝扩展，材料较强的次要收缩率是引起上述现象的部分原因。

参考文献

Dziuba S, Boron S: The technology of extrusionfusion welding of polythene and polypropylene butt and T joints. *Welding International*, 14 (9), p. 677, 2000.

Vestolen P9022（特征：挤出成型的厚度为10mm（0.39in）的薄片）

从同一产品批次中取出焊缝挤出颗粒和薄板材料。表35.6是聚丙烯均聚物挤出焊接的工艺参数范围。

表35.6 聚丙烯均聚物挤出焊接的工艺参数范围

焊接速度/[mm/s (in/s)]	热空气温度/℃（℉）	
	最小值	最大值
4 (0.16)	260 (500)	330 (626)
8 (0.31)	280 (536)	370 (698)

参考文献

Jaussent V, Ehrenstein GW: Extrusion welds of different types of polypropylene. *Schweissen und Schneiden*, 50 (10), p. 656, October 1998.

聚丙烯均聚物

这里描述的挤压焊接试验用操作员特地设计的避免任意影响的半自动挤压焊接机执行。在这项试验中，连续测出以下参数：

- 挤出机螺杆的转数。
- 电热丝的温度。
- 挤出物的温度和压力。
- 喷嘴处的热空气温度。
- 焊接长度和时间。
- 焊接垫板的水平力和垂直力。

研究结果显示，挤出物的温度为205~225℃（401~437℉）时，主要影响参数是焊接速度和预热空气温度。这些参数一方面受重结晶层的最小厚度限制，另一方面受材料降解的限制。

参考文献

Gehde M: Extrusion welding of polypropylene. *Welding in the World*, 39 (5), p. 279, 1997.

聚丙烯聚合物（形状：厚度为20mm（0.79in）的薄片）

残余应力的松弛主要受焊接参数而不是焊缝几何尺寸的影响。在高预热温度（320℃，即608℉）下，压力的减少发生得非常快，这是由重结晶层较少的定向造成的。增加周边温度后，粘弹性部件的释放明显加快。另一方面，与室温下的松弛相比，在一个月的试验期粘性部件上并没有发现任何区别。因此，从本质上来说，仅粘弹性部件有利于在技术代表时间内引起应力减少，可将热贮存限制在少于一周的相对较短的时间内。

参考文献

Viertel A, Ehrenstein GW: Relaxation behaviour of polypropylene extrusion welds. *Schweissen und Schneiden*, 49, p. 348, 1997.

聚丙烯均聚物（特征：厚度为10mm（0.39in）的挤压薄片）

在自动挤压焊接机器上产生焊接接头，以便于排除人工的干扰，同时保证结果的再造性。热空气温度在200~440℃（392~824℉）范围内变化，焊接速度是4 mm/s（0.16in/s）或8mm/s（0.31in/s）。为获得具有可比性的焊接几何尺寸，使挤出物的总流量与焊接速度相配。

结果显示，焊接参数获得优良短期性能的范围比达到良好的长期强度的范围窄。长期性能的稳定阶段从厚度近似为0.3mm（0.012in）的重结晶层开始，然而，同样优良的短期参数，仅仅从厚度为0.6mm（0.024in）的重结晶层开始。

在焊接面的某一最小强度上，焊接接头的寿命仅仅依赖于形成无痕焊缝的程度；微观痕和宏观痕会明显减少焊接寿命。

参考文献

Gehde M, Ehrenstein GW: Long-term and failture behaviour of extrusion welded joints. *Schweissen und Schneiden*, 48, p. 280, 1996.

35.2.5 机械连接

壳牌化工：壳牌 KM6100

这项研究的目的是回答关于聚丙烯模铸螺纹铜镶嵌件抗拔能力的两个问题——模铸螺纹铜镶嵌件抗拔能力对工艺条件变化的敏感性如何？内部润滑剂是否能显著降低模铸螺纹铜镶嵌件的保持力？

基体树脂是聚丙烯均聚物，天然的，壳牌 KM6100。工艺控制条件如下：

喷嘴温度：200℃（392℉）。

前场：200℃（392℉）。

后场：150℃（302℉）。

注射时间：10s。

注射速度：最大值。

注射压力：34.5MPa（5000psi）。

冷却时间：25s。

模具冷却温度：18℃（64℉）。

嵌件温度：22℃（72℉）。

除了基体树脂外，还对含有三种不同润滑剂的聚丙烯混合物的影响进行了评估，包括 1% 低相对分子质量聚丙烯蜡、0.3% 硬脂酸钙和 0.25% Mold Wiz 内部润滑剂，塑料研究实验室股份有限公司制造的 INT-33A。

控制组的保持力是 183.5kgf（405lbf）。将注射压力增加到 69.0MPa（10000 psi），抗拔能力降低了 13.5kgf（29.8lbf）。注射压力降低到 14.5MPa（2100lbf）后，保持力降低了 18.0 kgf（39.7lbf）。注射时间增加 20s，保持力降低了 6.0kgf（13.2lbf），而注射时间缩短到 2s，保持力降低 18.0 kgf（39.7lbf）。这些重要的影响由欠增压、过增压和欠保压、过保压决定。镶嵌件温度增加到 95℃（203℉），保持力降低 19.0 MPa（42lbf）。这些结果表明，镶嵌件的抗拔能力对压力、注射时间和镶嵌件温度的有选择的变化很敏感。

低相对分子质量聚丙烯蜡和硬脂酸钙的抗拉拔能力显著减少，它们分别降低 29kgf（54lbf）和 37kgf（82lbf）。润滑剂促使镶嵌件更容易从周围塑料滑落。Mold Wiz 材料引起的抗拉拔能力的降低量仅为 9.5kgf（21lbf）。

参考文献

Lokensgard E: Effects of process conditions and internal lubricants on the pull-out resistance of threaded inserts in polypropylene. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

35.3 聚丙烯共聚物

35.3.1 热工具焊接

聚丙烯共聚物（形状：管材；化学类型：无规共聚物）

表 35.7 给出推荐用于聚丙烯无规共聚物管的热工具插口融合焊参数。

热工具的温度应该是 250 ~ 270℃（482 ~ 518℉）。

表 35.7 推荐用于聚丙烯无规共聚物管的热工具插口融合焊参数

管道外径/in	加热时间/s		最大转换时间/s	冷却时间	
	SDR11	SDR17.6		固定时间/s	总时间/min
3/8	5		4	6	2
1/2	5		4	6	2
3/4	7		4	10	2
1	8		6	10	4
$1^{1/4}$	12		6	20	4
$1^{1/2}$	12		6	20	4
2	24	10	8	30	6
$2^{1/2}$	30	15	8	30	6
3	40	22	8	40	6
4	50	30	10	50	8
$4^{1/2}$	60	35	10	60	8

注：标准尺寸比 SDR = 外径/壁厚。

参考文献

Frank T：Heated tool welding of thermoplastic pipes (example polyolefins). AWS/DVS Conference on Plastics Welding, Orlando, October 2000.

赫斯特股份公司：赫斯塔伦聚丙烯纤维 Hostalen（化学类型：共聚物）

在热板焊接时，在焊缝中可看到球晶颗粒，也可看到由变形球晶构成的热影响区，其中的变形球晶将焊缝和邻近母源分开。差示扫描量热法的结果显示，焊接条件影响母聚合体的晶质结构，而且焊缝中 β 晶质形式几乎全部消失。

焊缝的力学性能劣于从薄片中取出的样本的力学性能。焊缝冲击强度是母体材料强度的 24%。在某种程度上，低冲击强度可能是由焊缝和母体材料间可见的微观结构的突变引起的。

参考文献

Stevens SM：The effect of welding on the α-and β-crystalline forms of polypropylene. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

聚丙烯共聚物（化学类型：无规乙烯共聚物；材料构成：0.5% 炭黑）

加热板焊接通过标准（材料制造商推荐）和非标准（用于研究增加加热板位移时间）工艺条件以结构和形态特性相区别，但是并不总是以拉伸强度（见表 35.8）为基础。低拉伸强度与焊缝/管道接触面未形成球晶区域，焊缝较宽和焊缝方向上流动量的减少有关。尽管中线处结晶度出现增加，但是焊接对聚丙烯焊缝的平均螺旋含量的影响很小。

表 35.8 乙烯与聚丙烯共聚制成的等规管加热板焊接的焊接详情和拉伸结果

焊缝	总加热时间/s	加热板温度/℃	加热/焊接压力/MPa (psi)	加热板移除时间/s	拉伸强度/MPa (psi)
焊缝 1	200	205 (401)	0.1 (15)	2	20.8 (3020)
焊缝 2	200	205 (401)	0.1 (15)	50	20.4 (2960)
焊缝 3	200	205 (401)	0.1 (15)	70	10.7 (1550)
母体材料	—	—	—	—	22.0 (3190)

焊接降低平行于管道轴向的结晶阶段取向量。取向转变为焊缝的流动方向；增加加热板移除时间后，重新排列量降低，而且中线处的取向急剧下降。

透射光显微镜并不总是显示形态改变，而形态改变由蚀刻样本的扫描电子显微镜检查，例如热影响区的范围显示，或傅里叶变换红外光谱对退火区的显示。蚀刻（酸化和溶解）的方式涉及在薄片和球晶边缘间的无序材料位移，而且在β球状晶粒上易发生腐蚀。

参考文献

Stevens SM: Structure evaluation of polyethylene and polypropylene hot plate welds. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

35.3.2 振动焊接

聚丙烯共聚物

非聚丙烯涂底地毯与6种聚丙烯共聚物基材的振动焊接设计显示连接特性是由在熔融聚丙烯和无纺涂底材料间的机械联锁决定的。试验研究了三个主要的焊接参数（时间，压力和振幅）和6种不同的基材。结果显示，焊接振幅和焊接时间是影响结合强度的主要因素，其次是焊接压力。研究发现，在2s的焊接时间、0.35MPa（51psi）的焊接压力和1.75mm（0.069in）的振动振幅等条件下可获得强度最大的粘合。

参考文献

Wu CY, Ayres T: Vibration welding of carpet to polypropylene substrate. *Welding in the World*, 49 (7/8), p. 73, July/August 2005.

华盛顿佩恩塑料：PPC5UF0（形状：厚度3.2mm（0.126in）的注射充模平板；增强材料：有机粘土）

分别用质量分数为0%、3%和6%的有机粘土合成聚丙烯共聚物。将厚度为3.2mm（0.126in）的平板加工成尺寸为50mm×100mm（2.1in×3.9in），并以211Hz的频率和1.8mm（0.071in）的峰间振幅焊接。焊接压力在1~4MPa（145~580psi）范围内变化，目标熔融量在1~3mm（0.04~0.12in）范围内变化。

试验结果显示，添加到聚丙烯基体的有机粘土材料引起焊缝强度的大幅下降。试验观察到，每增加3%有机粘土，焊接拉伸强度下降几乎达到25%，这是由焊缝处粘土薄片的排列引起的。与有机粘土含量的影响相比，焊接条件对焊接强度的影响非常小，熔融压力增长4倍才能引起焊接强度增加10%。未观察到完全熔融的显著影响。

参考文献

Bates P J, Braybrook C, Kisway T, Tucker B, Gopakumar TG, Pagé DJYS, Wu CY: Vibration welding polypropylene-based nanocomposites. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

亨斯迈公司：AP 6120-HS（形状：注射成型平板）

这项研究对不同热塑性塑料的轨道振动焊接与线性振动焊接的焊接质量的区别进行了比较。控制参数变化如下：

振幅：峰间值为0.76~1.8mm（0.03~0.07in）。

合模压力：1.0~6.9MPa（145~1000psi）。

塌陷量：0.76~1.8mm（0.03~0.07in）。

结果显示，线性振动焊接和轨道振动焊接的焊接强度最大值没有区别。因此，在焊接强度最大值不变的情况下，轨道振动焊接使焊接周期降低30%。

对于给定的合模压力设置来说，和线性移动相比，采用轨道移动能以低10%的振动振幅达到相同的焊接强度。焊接低振动振幅值的优点是能够焊接更高的悬空壁，并能够在焊接机不出现过载的情况下设计更大型的工具用于大部件。

参考文献

Grewell DA, Benatar A: An application comparison of orbital and linear vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

赫斯特股份公司：Hostlen 聚丙烯纤维

振动焊接没有特色，而且在焊缝和母体材料间有突变。差示扫描量热法显示，焊接条件影响母体聚合物的结晶结构，最主要的影响是焊缝内 β 晶粒的消失。

焊缝的力学性能劣于从薄片中取出的样本的力学性能。焊缝冲击强度是母体材料强度的11%。在某种程度上，低冲击强度可能是由焊缝和母体材料间可见的微观结构的突变引起的。

参考文献

Stevens SM: The effect of welding on the α-and β-crystalline forms of polypropylene. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

35.3.3 挤压焊接

Vestolen P9422, Vestolen P9522（特征：厚度为10mm（0.39in）的挤出薄片）

从同一产品批次中取出焊缝挤出颗粒和薄板材料。表35.9给出聚丙烯共聚物的挤压焊接工艺参数范围。

表35.9 丙烯共聚物的挤压焊接工艺参数范围

聚丙烯等级	挤出物材料	焊接速度/(mm/s)	热空气温度/℃（℉）	
			最 小 值	最 大 值
Vestolen P9422	无规共聚物	4	280（536）	320（608）
		8	290（554）	350（662）
Vestolen P9522	嵌段共聚物	4	280（536）	350（662）
		8	300（572）	360（680）

参考文献

Jaussent V, Ehrenstein GW: Extrusion welds of different types of polypropylene. *Schweissen und Schneiden*, 50 (10), p. 656, October 1998.

35.3.4 激光焊接

巴赛尔聚烯烃：聚丙烯共聚物（形状：3.2mm（0.126in）厚的注射成型平板）

为了解不同颜色热塑性聚烯烃对聚丙烯的焊接性，进行三因子（激光功率，焊接时间和扫描速度）两水平全因子设计的试验。天然聚丙烯共聚物用作透明层，由聚丙烯、滑石粉填料和橡胶改性剂组成的，巴赛尔聚烯烃公司生产的三种热塑性聚烯烃材料（黑色、蓝

色和黄褐色）都被用作吸收层。在试验中使用波长为1.06μm、功率为200W的脉冲激光Nd：YAG。

试验发现，厚度为3.2mm（0.126in）的天然聚丙烯传输速率为29%。同时发现黑色热塑性聚烯烃有最大的激光吸收率，其次是蓝色热塑性聚烯烃，然后是黄褐色热塑性聚烯烃。因此，黑色热塑性聚烯烃需要达到最大接头强度的焊接时间最小。除此之外，减少扫描速率后，达到最大接头强度所需的焊接时间也减少了。

参考文献

Wu CY, Cherdron M, Douglas DM: Laser welding of polypropylene to thermoplastic polyolefins. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

35.3.5 感应焊接

巴赛尔聚烯烃：Pro-fax 7523

使用商业高频产生器（Emabond 系统 HD500）来制造感应焊接缝。用储气筒提供的压力来控制焊接接触面压力，使用的焊接压力是0.21MPa（30psi）和0.41MPa（60psi）。

尽管这项试验的重点是焊缝的拉伸强度，但是在感应焊接中焊接接头主要受剪切应力作用，试验证明了相对焊接强度高达55%。

参考文献

Stokes VK: Experiments on the induction welding of thermoplastics. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

第36章 聚 氨 酯

36.1 超声波焊接

陶氏化学：陶氏 XU72523.01（特征：高热量等级，透明），**Isoplast 101**（特征：冲击改良），**Isoplast 301**（特征：透明，低冲击）

这个研究旨在研究哪种树脂可以与其本身或其他树脂进行有效的超声波焊接，以及用来识别其最大焊接完整性。除了着眼于不同热塑性材料的焊接强度外，这项研究还探究了伽马射线和环氧乙烷（EtO）灭菌对这些焊缝强度的影响。评估了保健行业中使用的包括刚性热塑性塑料聚氨酯在内的多种树脂。

量身定做的I形梁试件用来测试拉伸强度，以测定每个树脂在固态、非粘接试件时的初始强度，没有结合试件结构。这种基线测试的数据用于确定焊接后保持的强度占原始强度的百分比。无定形树脂最常用的能量传导器是一个90°的对接接头，作为焊接结构。

不断尝试以使这个成为“现实”研究。焊接过程的目的是产生高强度的焊缝，并且保持部件的美观。已知的用于判断焊接好坏的一个最重要的因素是沿着接头两边观察到的焊瘤和溢出的数量。良好焊接的另一个性质是焊接横截区域的完全浸润。

总的来说，树脂相容性、在部件中传输振动能量的能力和不同的玻璃化温度是产生优良焊缝的决定性特征。虽然在试验中没有显示，但应注意到树脂的焊接能力也是超声波焊接结构的一个函数。在研究使用的结构中焊接性优良的树脂在其他结构中的焊接性可能并不好。

总之，刚性热塑性塑料聚氨酯与聚苯乙烯或聚碳酸酯的焊接性不好。在这项研究中，虽然在每种树脂中均达到了一定的粘合度，高热刚性热塑性塑料聚氨酯和任一种树脂的焊接性都不好。冲击改良和透明刚性热塑性塑料聚氨酯与ABS树脂的粘合非常好，刚性热塑性塑料聚氨酯与SAN树脂的粘合性次之。在这项短期研究中，环氧乙烷和伽马射线的灭菌没有影响粘合性。

参考文献

Kingsbury RT: Ultrasonic weldability of a broad range of medical plastics. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

36.2 溶剂焊接

陶氏化学：Isoplast 301（特征：透明）

试验对增塑PVC管和刚性透明热塑性塑料的溶剂粘合性/相容性进行评估，没有发现由刚性透明热塑性塑料制造的Luers合成后组装微裂的证据。在每个案例中，当丙酮不是溶剂时，嵌入物的松弛度非常好。四氢叶酸粘合性很强，它和甲基乙基酮或二氯甲烷的特定量混合——尤其是含30%~50%甲基乙基酮的混合物，可达到令人满意的粘合度。除了四氢叶酸外，可获得最大粘合整合值的首选溶剂是30：70比例的环己酮与甲基乙基

酮的混合物。

参考文献

Haskell A: Bondability/compatibility of plasticized PVC to rigid, transparent thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

第37章　苯　乙　烯

37.1　聚苯乙烯

37.1.1　热工具焊接

聚苯乙烯（形状：发泡）

聚苯乙烯发泡材的热工具焊接的焊接因子不可能高于0.8。

参考文献

Potente H, Wilke L: Welding thermoplastic foams. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

37.1.2　超声波焊接

聚苯乙烯（注意：含有回收聚苯乙烯）

回收聚苯乙烯对超声波焊接接头强度的影响与对机械特性可观察到的影响趋势相同。纯聚苯乙烯的剪切强度是30.2MPa（4380psi），而在100%回收料样本中降低到21.3MPa（3090psi）。将29%剪切接头强度的降低量与27%拉伸强度的降低量相比（因为回收料量从0%增加到100%）可以得出这样的结论：回收聚苯乙烯对超声波焊接工艺的影响大部分是由于聚合物力学性能发生了转变。在试验中，回收聚苯乙烯剂量的添加对超声波焊接工艺的影响不大。

在这项调查中，数据显示，在回收聚苯乙烯量超过25%时，拉伸强度和剪切强度都出现最大降低量。因此，产品工艺的一些建议应以这个数据为基础。

其他试验显示，回收聚苯乙烯含量的变化引起聚合物粘度的轻微改变。这是重研磨聚苯乙烯含量改变对超声波焊接工艺影响不大的原因之一。

回收聚苯乙烯的强度减少，最可能是由于回收工艺带来一些难以避免的污染，以及聚合物链长度变短引起的改变造成的。

参考文献

Infantino B: Ultrasonic welding of regrind plas-tics. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

巴斯夫股份公司：Polystyrol

优先选用超声波焊接技术。

参考文献

Polystyrol Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 564 e/2.93), BASF Aktiengesell-schaft, 1993.

陶氏化学：styron 666D（特征：中等相对分子质量），styron 685（特征：高相对分子质量）

这个研究旨在研究哪种树脂可以与其本身以及其他树脂进行有效地超声波焊接，以及

用来识别其最大焊接完整性。除了着眼于不同热塑性材料的焊接强度外，这项研究还探究了伽马射线和环氧乙烷杀菌对这些焊缝强度的影响。评估了保健行业中使用的包括通用聚苯乙烯在内的多种树脂。

量身定做的I形梁试件用来测试拉伸强度以测定每个树脂在固态、非粘接试件时的初始强度，没有结合试件结构。这种基线测试的数据用于确定焊接后保持的强度占原始强度的百分比。无定形树脂最常用的能量传导器是一个90°的对接接头，作为焊接结构。

不断尝试以使这个成为“现实”研究。焊接过程的目的是产生高强度的焊缝，并且保持部件的美观。已知的用于判断焊接好坏的一个最重要的因素是沿着接头两边观察到的焊瘤和溢出的数量。良好的焊接的另一个性质是焊接横截区域的完全浸润，但问题是，只有采用纯聚合物作为顶部样块才能看到完整的焊缝。

这项研究中涉及的树脂几乎都能在某种程度上成功焊接到一起。总的来说，树脂相容性、在部件中传输振动能量的能力和不同的玻璃化温度是产生优良焊缝的决定性特征。虽然在试验中没有显示，但应注意到树脂的焊接能力也是超声波焊接结构的一个函数。在研究使用的结构中焊接性优良的树脂在其他结构中的焊接性可能并不好。

通用聚苯乙烯易碎且具有切口敏感性。因为接头区域存在自然产生的瑕疵，从而导致试验在多数情况下出现过早破坏，这也导致大多数情况下的标准偏差非常高。与测试样本中使用的设计相比，由于这些树脂具有易碎性，所以很难对粘合强度做出任何明确的结论。任何用于通用聚苯乙烯的焊接结构均有相似的焊接区域瑕疵，这一推测是合理的，因此很容易得出结论：通用聚苯乙烯超声波焊接的粘合强度具有很高的多变性，应该在制件设计中进行补偿。

参考文献

Kingsbury RT: Ultrasonic weldability of a broad range of medical plastics. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

陶氏化学：styron

用超声波焊接将 styron 同它本身粘合到一起可以得到良好的结果。

参考文献

General Purpose Styron, Supplier design guide (301-678-1085), Dow Chemical Company, 1985.

37.1.3 振动焊接

聚苯乙烯（形状：发泡）

在聚苯乙烯发泡材的振动焊接中，气孔在流动方向上变扭曲，因此,与玻璃纤维取向的减少相同，焊缝强度会降低。在熔融区域形成的气孔越多，接头的强度越低。焊接因子不可能大于0.8。

参考文献

Potente H, Wilke L: Welding thermoplastic foams. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

37.1.4 旋转熔焊

聚苯乙烯

较高的脆性标准的聚苯乙烯的摩擦焊接非常困难。在低轴向压力（0.05～1MPa，即7～145psi）下可达到的最大焊接因子（母体材料的焊接强度/疏松材料强度）为0.45。

参考文献

Tappe P, Potente H: New findings in the spin welding of plastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

37.1.5 激光焊接

聚苯乙烯

在这些试验中，使用波长为828nm的二极管激光器将厚度为0.4mm（0.016in）的纯聚苯乙烯（顶部）和厚度为1.5mm（0.059in）的黑聚苯乙烯（底部）焊接到一起。将压力设置成69kPa（10psi），功率在50~1000mW范围不等，运行速度在30~140mm/s（1.2~5.5in/s）范围，焦斑尺寸在25~50μm（0.001~0.002in）范围。

结果显示，焊接宽度与热输入和功率级成正比。对于25μm（0.001in）的焦斑透镜来说，最小焊接宽度大约为55μm（0.022in）。在热输入低于0.0025J/mm的情况下，可产生17μm（0.007in）的相对均匀的焊缝宽度。可产生25~35μm（0.0010~0.0014in）的分离焊缝。

参考文献

Grewell D, Jerew T, Benatar A: Diode laser microwelding of polycarbonate and polystyrene. ANTEC 2002, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 2002.

37.1.6 溶剂焊接

巴斯夫股份公司：Polystyrol

聚苯乙烯制件可在溶剂（如甲苯或二氯甲烷）的帮助下粘合到一起，但仅限于由相同材料制成的制件。

参考文献

Processing of Polystyrol, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft, 2007.

陶氏化学：苯乙烯树脂615APR（特征：透明）

试验对增塑PVC管和刚性透明热塑性塑料的粘合性/相容性进行评估，没有发现聚苯乙烯的溶解粘合剂达到粘合强度的公认标准。在无丙酮的情况下，很容易进行组装，而一旦接触丙酮，管件将难以插入且诱剂立即开裂。直线二氯甲烷和直线甲基乙基酮会产生微裂。用于聚苯乙烯的最佳溶剂是直线环己酮或1，2-二氯乙烷。

参考文献

Haskell A: Bondability/compatibility of plasticized PVC to rigid, transparent thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

陶氏化学：Styron

由聚苯乙烯注射成型制件可以通过任一种有效溶剂焊接到一起。应根据溶剂的特性来考虑安全问题。

参考文献

General Purpose Styron, Supplier design guide (301-678-1085), Dow Chemical Company, 1985.

37.1.7 粘合剂连接

聚苯乙烯亨斯迈公司：XC2245-HIY-9100

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切

试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表37.1中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表37.1中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表37.1 采用乐泰公司的粘合剂对亨斯迈XC2245-HIY聚苯乙烯与聚苯乙烯进行粘接的剪切强度

[单位：MPa（psi）]

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
非填充树脂4rms	3.1 (450)	9.3 (1350)	>12.1① (>1750①)	3.5 (500)	2.4 (350)	9.3 (1350)
粗加工的32rms	5.2 (750)	>5.5① (>800①)	5.2 (750)	5.5 (800)	2.4 (350)	9.3 (1350)
抗氧化剂0.06%抗氧剂245，0.02%抗氧剂1076	3.1 (450)	>10.0① (>1450①)	>22.8① (>3300①)	8.6 (1250)	2.4 (350)	9.3 (1350)
UV稳定剂0.31%苯三唑甲酚328，0.31%苯三唑甲酚770	3.1 (450)	9.3 (1350)	>12.1① (>1750①)	3.5 (500)	2.4 (350)	0.7 (100)
抗冲击改性剂15% Kraton D1101	6.2 (900)	>14.5① (>2100①)	>12.1① (>1750①)	>15.9① (>2300①)	1.0 (150)	>13.8① (>2000①)
阻燃剂4% saytex HBCD-SF，1%氧化锑	3.1 (450)	5.2 (750)	>12.1① (>1750①)	>5.9① (>850①)	0.3 (50)	9.3 (1350)
润滑剂0.5%硬脂酸锌	3.1 (450)	>8.3① (>1200①)	>12.1① (>1750①)	3.5 (500)	0.3 (50)	9.3 (1350)
着色剂4% CP204230	3.1 (450)	3.1 (450)	10.3 (1500)	3.5 (500)	2.4 (350)	6.9 (1000)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头

使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：将 Prism 401 瞬间粘合剂、Prism Primer 770 和光固化粘合剂 Flashcure 4305 结合使用，会在聚苯乙烯上达到最高的粘合强度，甚至与使基底失效时的强度相媲美。Prism 401 瞬间粘合剂、乐泰 3105、光固化丙烯酸粘合剂、乐泰 3030 和环氧树脂 3631 热熔粘合剂达到最高的粘合强度。乐泰 3651 和环氧树脂 7804 热熔融粘合剂达到的粘合强度最低。抗冲改性剂的添加使超能胶和光固化丙烯酸粘合剂粘合的聚苯乙烯粘合性增加。

表面处理：将 Prism Primer 770 和 Prism 401 瞬间粘合剂结合使用，或者将 Prism 4011 医疗设备瞬间粘合剂和 Prism Primer 7701 结合使用，会引起所有聚苯乙烯制剂（表面粗糙的聚苯乙烯除外）的粘合性的增长。采用 Prism Primer 770 或 7701 可使粗糙聚苯乙烯的粘合性发生显著降低。在使用超能胶时，表面粗糙化引起未装填聚苯乙烯上达到的粘合强度显著增加，但是在使用丙烯酸粘合剂时，对未装填聚苯乙烯的粘合强度并没有产生显著影响。

其他信息：聚苯乙烯与丙烯酸粘合剂相容，但是在粘合剂固化前被其催化剂侵蚀。应从表面快速移除过多的催化剂。聚苯乙烯和厌氧性粘合剂不相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

陶氏化学：Styron

可用一些常用的橡胶基粘合剂将由聚苯乙烯树脂制成的制件和其他不同材料（如金属、木材和玻璃）粘合到一起。为阻止复合材料中由应力开裂引起的过早破坏，要谨慎选择粘合剂。

参考文献

General Purpose Styron, Supplier design guide (301-678-1085), Dow Chemical Company, 1985.

37.1.8　机械固定

陶氏塑料：奎斯特拉（Questra）

结晶聚合物制成的制件比其他聚合物制件更适合于扣合设计。通常，由于玻璃增强聚合物的低伸长量，长杠杆臂需要设计成扣合特征。由于材料比未填充热塑性塑料硬，所以应降低扣合量，由此也会降低观察到的弯曲量，从而降低制件应力。

参考文献

Questra Design Guide, Supplier design guide, Dow Plastics, 1999.

37.2　耐冲击聚苯乙烯

37.2.1　热工具焊接

耐冲击聚苯乙烯

对耐冲击聚苯乙烯（IPS）采用加热板焊接可稳定地获得同母体材料相同的强度，但是

材料位移量很大。控制材料位移量的基本要求是使用位移限制器。限位器的位置非常重要，因为将限位器设定在使用设备的最大限位器位置——1.0mm（0.039in）时，可达到改进的接头强度。因为压力和时间对拉伸应力的影响很小，所以将焊接融合期限制在小于5s的时间内可作为提高工艺效率的辅助手段。

很明显，对于热透足够的材料来说，在熔体前端之后，必须在融合阶段提供大于2.5mm（0.1in）的材料位移量。当加热板温度为205℃（401℉）时，需要最少为20s的加热时间以提供所需要的热透材料。然而，当使用的加热板温度高达225℃（491℉）时，减少加热时间至小于15s，在融合期位移量将大于2.5mm（0.1in），从而使接头具有高拉伸应力值。

参考文献

Watson M, Murch M: Recent developments in hot plate welding of thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

37.2.2 超声波焊接

耐冲击聚苯乙烯

在V形坡口加工后的耐冲击聚苯乙烯的超声对接焊接中，集中部（V形坡口）全部熔融之后，焊接区域的变形量为0.05～0.10mm（0.002～0.004in），接头最终强度达到最大值。坡口加工增加了焊接接头的强度，改善了接头外观，并减少了焊接时间。V形坡口的最佳高度是0.3～1.0mm（0.012～0.039in）。

参考文献

Volkov SS: Effect of dimensions of the gap between the edges on the strength of ultrasound welded joints in rigid plastics. *Welding International*, 17 (6), p. 482, 2003.

陶氏化学：Styron 498（特征：高抗冲）

这个研究旨在研究哪种树脂可以与其本身以及其他树脂进行有效地超声波焊接，以及用来识别其最大焊接完整性。除了着眼于不同热塑性材料的焊接强度外，这项研究还探究了伽马射线和环氧乙烷灭菌对这些焊缝强度的影响。评估了保健行业中使用的包括高耐冲击聚苯乙烯（HIPS）在内的多种树脂。

量身定做的I形梁试件用来测试拉伸强度以测定每个树脂在固态、非粘接试件时的初始强度，没有结合试件结构。这种基线测试的数据用于确定焊接后保持的强度占原始强度的百分比。无定形树脂最常用的能量传导器是一个90°的对接接头，作为焊接结构。

不断尝试以使这个成为“现实”研究。焊接过程的目的是产生高强度的焊缝，并且保持部件的美观。已知的用于判断焊接好坏的一个最重要的因素是沿着接头两边观察到的焊瘤和溢出的数量。良好的焊接的另一个性质是焊接横截区域的完全浸润，但问题是，只有只有采用纯聚合物作为顶部样块才能看到完整的焊缝。

研究中涉及的几乎所有树脂在焊接中均达到一定的粘合度。总的来说，树脂相容性、在部件中传输振动能量的能力和不同的玻璃化温度是产生优良焊缝的决定性特征。虽然在试验中没有显示，但应注意到树脂的焊接能力也是超声波焊接结构的一个函数。在研究使用的结构中焊接性优良的树脂在其他结构中的焊接性可能并不好。

试验用的耐冲击聚苯乙烯树脂与自身及其他聚苯乙烯和低氰乙烯SAN等级材料的粘合

性都很好。耐冲击聚苯乙烯与氨基甲酸酯的粘合性不好。研究显示，高耐冲击聚苯乙烯与聚碳酸酯之间的粘合相容性是有限的，耐冲击聚苯乙烯含量越高，光线追踪处理器热量越高。试验后对这些焊缝的检查显示耐冲击聚苯乙烯已经熔化，但是这些高玻璃化温度材料的导能器仍然保持完整（没有熔化），并嵌入到耐冲击聚苯乙烯中。这表明耐冲击聚苯乙烯树脂变成将工件合成一体的粘合剂，并含有有限的交错分子。总的来说，尽管环氧乙烷灭菌使大多数耐冲击聚苯乙烯树脂结合的粘合强度稍微降低，但是耐冲击聚苯乙烯样本不受伽马灭菌的影响。

参考文献

Kingsbury RT: Ultrasonic weldability of a broad range of medical plastics. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

耐冲击聚苯乙烯

耐冲击聚苯乙烯的超声波搭接焊的结果显示存在最佳焊接力。在振幅为 29μm（0.0011in）时，最佳焊接力是200N（45lbf）。仅在或接近最佳焊接力时可获得最终断裂强力的最大值，而且在最佳焊接时间后，该数值不能继续增加。

发电器和产生的衰减改变不在控制焊缝质量的自身工艺参数中。为了在焊接过程中可靠地控制焊缝强度的质量，必须控制焊接力、焊接时间/振幅和/或位移。

参考文献

Netze C, Michaeli W: Correlation of welding parameters, energy conversion and mechanical weld seam properties for ultrasonic welding. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

陶氏化学：Styron XL-8035MFD（应用：软盘；特征：洛氏 M 硬度为45，洛氏 L 硬度为85）

使用20kHz 或40kHz 的电焊机时，容易对苯乙烯树脂 XL-8035MFD 进行超声波焊接。通常，苯乙烯树脂 XL-8035MFD（微型软磁盘）的超声波焊接优点和程序与苯乙烯树脂498 或 XL-8023VC 相似。焊接能量模式或时间模式中推荐能量模式优先。与焊接 ABS MFD 制件相比，耐冲击聚苯乙烯 MFD 部件所需的轻微调整应以电焊机装置和固定为基础。不管 MFD 是否由 ABS 或耐冲击聚苯乙烯制成，均可达到相同的焊接周期和焊接强度。

参考文献

Styron XL-8035 MFD High Impact Polystyrene Resin for Microfloppy Diskettes, Supplier marketing literature (301-1607-791X SMG), Dow Chemical Company, 1991.

雪弗龙：6800

耐冲击聚苯乙烯的远场超声波焊接非常成功。焊接强度随压力、接头接触面处振动振幅和焊接时间的增加而改善。在较长焊接时间的情况下，由于流量增加造成不理想分子取向，焊接强度随焊接时间增加而轻微降低。

参考文献

Benatar A, Cheng Z: Far-field ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

雪弗龙：6800

耐冲击聚苯乙烯的近场超声波焊接非常成功，其粘合强度比半结晶材料高。研究发现，通常最初增加焊接压力会增强焊缝强度，进一步增加焊接压力后，不理想的分子取向会使焊接强度降低。焊接时间的增加能够增加能量损耗和焊接强度。增加振动振幅会使能量损耗和

焊接强度增加（虽然不如半结晶材料中多），低振幅除外。

参考文献

Benatar A, Eswaran RV: Near-field ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

陶氏化学：Styron 苯乙烯树脂（制造方法：注射成型）

苯乙烯树脂与其自身的超声波焊接可得到优良的结果。

参考文献

Styron Polystyrene Resins for Applications Requiring Impact Resistance, Supplier design guide (301-471-1281), Dow Chemical Company, 1981.

37.2.3 溶剂焊接

陶氏化学：498MW（形状：注射成型 ASTM 弯曲试验样本）

在 ABS 和耐冲击聚苯乙烯的溶剂焊接中，为评估二氯甲烷的替代物进行了调查。试验考虑了 14 种候选溶剂。将这些溶剂划分成三种普通种类——传统溶剂，绿色溶剂和清洁溶剂。

研究结果显示，溶剂挥发率在粘合强度的变化中非常重要。尤其是高蒸气压力的溶剂在所有案例中都表现出优良性能。这显示，必须在粘合周期时间和空气中溶剂挥发量间作出取舍。

乙酸乙酯、乙酸甲酯和丙酮都超过二氯甲烷基线的性能。

绿色溶剂的低溶解性参数使它们从力学性能角度上成为不被接受的候选品。除此之外，虽然清洁溶剂、乳酸乙酯的溶解性参数接近乙酸甲酯的溶解性参数，但是它们比其他候选品表现欠佳。

N-甲基-2-吡咯烷酮与乙酸甲酯基线相比，其性能很差，然而，如果升高温度，并置于正压力或真空条件，可从这种清洁溶剂粘合法中得到足够的性能。

参考文献

Desai J, Barry CMF, Mead JL, Stacer RG: Solvent welding of ABS and HIPS. A case study in methylene chloride substitution. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

陶氏化学：Styron 6000

由 Styron 6000 系列树脂注射成型的制件可用如 MEK、丙酮、二氯化乙烯、全氯乙烯和三氯乙烯等溶剂粘合到一起。可将高于 15%（体积分数）未改性的聚苯乙烯添加到这些溶剂中以提高粘度。

溶剂可采用浸渍、滚筒涂装、刷净、喷雾、流动枪和其他方法使用。为得到更好的外观和更高的强度，舌榫、搭接接头和 V 形槽接头均优于对接接头。

参考文献

Styron 6000 Ignition Resistant Polystyrene Resins, Supplier Marketing Literature (301-01673-192R SMG), Dow Chemical Company, 1992.

陶氏化学：Styron（制造方法：注射成型）

Styron 树脂模制品可采用多种有效的溶剂通过溶剂焊接连接到一起。需要速干溶剂时，通常使用氯甲烷。MEK 或 30% 甲基丙酸烯甲酯和 70% 乙酸丁酯的混合物是有效的中速干燥

溶剂。

参考文献

Styron Polystyrene Resins for Applications Requiring Impact Resistance, Supplier design guide (301-471-1281), Dow Chemical Company, 1981.

37.2.4 粘合剂连接

陶氏化学：Styron（制造方法：注射成型）

可用一些通用橡胶基粘合剂将 Styron 聚苯乙烯树脂制件与其他不同材料如金属、木材和玻璃粘合到一起。为了阻止复合材料中由应力开裂引起的过早破坏，应谨慎选择粘合剂。

参考文献

Styron Polystyrene Resins for Applications Requiring Impact Resistance, Supplier design guide (301-471-1281), Dow Chemical Company, 1981.

37.3 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物

37.3.1 概述

巴斯夫股份公司：Terluran

可用触点式插座、旋转技术和超声波技术对 Terluran 注射成型和挤出成型坯进行焊接。初步试验通常非常重要，因为粘合强度和焊缝的外观对机器参数和粘附物有相当的依赖。

参考文献

Terluran Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 567e/(8109) 9.90), BASF Aktiengesellschaft, 1990.

37.3.2 热工具焊接

拜耳：Lustran

推荐用于 Lustran ABS 加热板焊接的参数如下：

加热板温度：230 ~ 410℃ (446 ~ 770℉)。

接合压力：0.4 ~ 0.8N/mm^2 (58 ~ 116psi)。

参考文献

Hot Plate Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

通用塑料：Cycolac GPP 4600

在热工具焊接中，ABS 的窗口框架等级可以达到很高的强度。溢出时，表面焊接强度比树脂强度高。溢出瞬间焊接强度的大小和这种材料在振动焊接中总的相对强度的 98% 相当。这种高强度可以在材料不干燥的情况下获得。

这种等级的 ABS 能在很宽的焊接工艺参数范围内焊接——加热板温度为 205 ~ 246℃ (401 ~ 475℉)，熔融时间为 10 ~ 20s。

参考文献

Stokes VK: The hot-tool and vibration welding of acrylonitrile-butadiene-styrene. *Polymer Engineering and Science*, 37 (4), p. 692, April 1997.

通用塑料：Cycolac GPP 4600

这项研究显示，ABS 的窗口框架等级的热工具焊接可以达到很高的强度。溢出时，表面焊接强度相当于基材树脂强度的 95%。溢出瞬间的相对焊接强度与这种材料在振动焊接中的相对强度的 95% 大小相当。应注意到，由于在这种焊接中溢出对强度不具有在热工具焊接中所起的作用，所以在相同的相对强度下，振动焊接具有更高的实际强度。

参考文献

Stokes VK：The hot tool welding of acrylonitrile-butadiene-styrene. ANTEC 1994，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，San Francisco，May 1994.

巴斯夫股份公司：Terluran 967K

在空气热老化后进行的 ABS 加热板焊接试验显示，和透明材料相比，温度升高减少 ABS 焊缝的伸长量并降低其拉伸强度；焊接样本的横截区域减少量大于 30%，并且会变黄。在温水和热水的浸湿后，ABS 加热板焊接出现了拉伸强度的损失量（30% ~70%）和伸长量（40% ~70%），并会变白（见表 37.2）。

表 37.2 耐热空气老化和沸水对 ABS 加热板焊接的性能影响

ABS 样本	曝露方式	老化温度/℃（℉）	老化期/天	最终拉伸强度		断裂伸长率	
				MPa（psi）	维持百分数	mm（in）	维持百分数
加热板焊接	耐热空气老化	120（248）	3	19.7（2860）	61	0.9（0.035）	42
母体材料	耐热空气老化	120（248）	3	46.1（6690）	107	2.8（0.110）	78
加热板焊接	耐热空气老化	120（248）	7	20.5（2970）	63	0.9（0.035）	41
母体材料	耐热空气老化	120（248）	7	47.2（6850）	109	3.1（0.122）	85
加热板焊接	耐热空气老化	120（248）	14	12.8（1860）	40	0.7（0.028）	33
母体材料	耐热空气老化	120（248）	14	39.1（5670）	91	2.5（0.098）	67
加热板焊接	沸水	100（212）	3	9.3（1350）	29	0.6（0.024）	29
母体材料	沸水	100（212）	3	41.4（6000）	96	6.5（0.256）	181
加热板焊接	沸水	100（212）	7	12.6（1830）	38	0.7（0.028）	31
母体材料	沸水	100（212）	7	40.5（5870）	94	5.4（0.213）	150

ABS 的聚丁二烯部分产生不饱和损失，羰基组浓度增加，而且这些现象在焊接过程中比透明材料重要。退火主要发生在 ABS 丁二烯部分。机械化学退火最初发生在焊接阶段而在随后的老化期中加速。傅里叶变换红外分光镜是潜在的检测 ABS 焊接中退火程度的技术。

参考文献

Tavakoli SM: The effect of ageing on structure and properties of hot plate welds in acrylonitrile-butadiene-styrene. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

37.3.3 超声波焊接

拜耳: Lustran ABS

在20kHz的频率下，Lustran ABS超声波焊接的推荐振幅是20~30μm。

参考文献

Ultrasonic Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

ABS（形状：AWS标准试验样条）

塑料制品的薄金属涂层可增加光学反射率，改善EMI/RFI防护层，降低渗透性，近年来，它在汽车、电子、医学和玩具工业中作为装饰用途而日益重要。这种涂层通常用在焊接区，因而被关注其对焊接性的影响。因此，针对这种有金属涂层ABS部件的超声波焊接进行了研究以估计涂层对焊接强度的影响。研究内容包括两种涂层：外涂层含六甲基二硅醚的铝涂层（厚度为55nm）和不透钢涂层（厚度为45nm）。在20kHz的频率下，用超声波焊接将镀层ABS与未镀层ABS焊接到一起。三个影响因子（焊接时间，焊接压力和振动振幅）不断变化以找出最佳焊接条件。试验发现铝涂层或不锈钢涂层对ABS的超声波焊接强度影响很小。未镀层ABS和铝镀层、不锈钢涂层ABS可得到的最大焊接强度分别是28.5MPa（4130psi）、28.2MPa（4090psi）和26.9MPa（3900psi）。

虽然涂层样本得到的最大焊接强度比未涂层样本稍低，但是在观测到的扩散范围内，焊接断裂面的照片也证实了这些结果，在正确的焊接条件下，金属涂层的挤出产生利于坚固接头的无金属区。

参考文献

Mokhtarzadeh A, Benatar A, Wu CY: Effects of metallization coating on ultrasonic welding of ABS. ANTEC 2006, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Charlotte, May 2006.

陶氏: 324/2447 Black

注射成型制品在20kHz的频率下进行超声波焊接。总焊接时间是0.9s，焊接时间是0.4s，保压时间是0.5s。导能器有一个90°角的脊，分为两种：一种脊为0.305mm（0.012in），另一种脊为0.610mm（0.024in）。在焊接制品中，一些暴露在水中24h，一些暴露30min，另一些则根本不暴露。

研究结果显示，有0.610mm（0.024in）脊的导能器的焊接制品比0.305mm（0.012in）的脊的导能器的焊接制品强度高。小导能器制品的平均失效载荷是119.1kgf（262.6lbf），标准偏差是7.5kgf（16.5lbf）；大导能器制品的平均失效载荷是127kgf（280lbf），标准偏差是8.0kgf（17.6lbf）。

在湿部件和干部件的比较中，采用大导能器作为标准。湿部件的失效载荷出人意料的低，仅有92.9kgf（204.8lbf），标准偏差是7.1kgf（15.7lbf）。

参考文献

Sager RC: Effects of energy director geometry and contamination on ultrasonic welds. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

ABS

对材料的超声波焊接强度和焊接力/保压力的关系进行了研究。试验发现，焊接强度和焊接力通常呈反比。高焊接力促使更强的分子排列并导致更低的焊接强度。在低焊接力（<455N，即102lbf）下，由于样本翘曲的存在，并不适用这种关系。在焊接周期中改变焊接力后发现能同时获得较短的周期时间和较强的焊缝。以曲线方式施力使焊接强度达到最大值，同时焊接时间也减少。

将同时使用振幅和以曲线方式施力与未使用以曲线方式施力进行对比，研究强度增加和焊接时间降低的情况。由于分子排列度降低导致强度增加，周期减少是因焊接初期使用高焊接力。总之，采用相对高的振幅和焊接力使焊接快速开始，而在完成焊接时使用相对低的振幅和焊接力以降低分子排列度。

参考文献

Grewell DA：Amplitude and force profiling：studies in ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1996，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Indianapolis，May 1996.

ABS

存在两种方式可确认振幅控制有益于热塑性塑料的超声波焊接。首先，应设置两个数据：振幅设为定值，焊接失效载荷设置在2500～3000N（560～670lbf）范围，标准偏差近似为±258N（58lbf）。在第一种方式中，只是在焊接周期中降低振幅并使用与工业生产中相似的参数，标准偏差能减低到±98N（22lbf）。如果设定中允许使用较长的焊接时间和塌陷量，那么在低振幅（19μm）时即可得到较高的焊接强度，如图37.1中第4数据所示。然而，使振幅在19～78μm范围内变化，在焊接时间较短和制品标记较少时，可得到相似的结果。

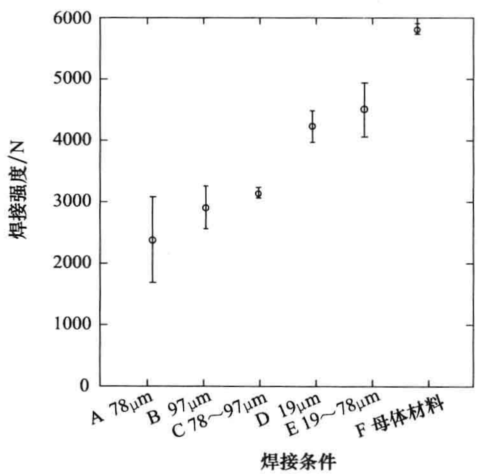


图37.1 不同振幅条件下进行超声波焊接的ABS试验样本焊接强度。试验采用的两个数值（即19～78μm）显示振幅变化范围。

试验显示，在超声波焊接时改变振幅更容易控制熔融过程。在焊接周期时降低振幅，能在粘合线处维持熔融态，获得的焊缝比恒定振幅下焊接的焊缝更坚固，并降低制品标记和增加焊缝一致性。

参考文献

Grewell DA, Frantz JL: Amplitude control in ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

陶氏化学：Magnum 2620（特性：高冲击、高光泽度）；Magnum **2624**（特性：中等冲击、低光泽度）

这个研究旨在研究哪种树脂可以与其本身以及其他树脂进行有效地超声波焊接，以及用来识别其最大焊接完整性。除了着眼于不同热塑性材料的焊接强度外，这项研究还探究了伽马射线和环氧乙烷杀菌对这些焊缝强度的影响。评估了保健行业中使用包括 ABS 在内的多种树脂。

量身定做的 I 形梁试件用来测试拉伸强度以测定每个树脂在固态、非粘接试件时的初始强度，没有结合试件结构。这种基线测试的数据用于确定焊接后保持的强度占原始强度的百分比。无定形树脂最常用的能量传导器是一个 90°的对接接头，作为焊接结构。

不断尝试以使这个成为“现实”研究。焊接过程的目的是产生高强度的焊缝，并且保持部件的美观。已知的用于判断焊接好坏的一个最重要的因素是沿着接头两边观察到的焊瘤和溢出的数量。良好的焊接的另一个性质是焊接横截区域的完全浸润，但问题是，只有采用纯聚合物作为顶部样块才能看到完整的焊缝。

研究中涉及的几乎所有树脂在焊接中均达到一定程度的粘合度。总的来说，树脂相容性、在部件中传输振动能量的能力和不同的玻璃化温度是产生优良焊缝的决定性特征。虽然在试验中没有显示，但应注意到树脂的焊接能力也是超声波焊接结构的一个函数。在研究使用的结构中焊接性优良的树脂在其他结构中的焊接性可能并不好。

总的来说，在这项研究中使用的 ABS 树脂与不同树脂的超声波焊接最相容。ABS 树脂与其自身、SAN、大多数聚氨酯和聚碳酸酯的超声波焊接粘合性都很好。然而，ABS 树脂与聚苯乙烯不相容，而其所获得的低焊接强度证明了这一点。在这项短期研究中，环氧乙烷和伽马射线杀菌都对 ABS 粘合强度没有影响。

参考文献

Kingsbury RT: Ultrasonic weldability of a broad range of medical plastics. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

巴斯夫股份公司：Terluran

超声波焊接技术使 Terluran 可与相关的热塑性塑料相粘合，包括 Luran（SAN），Luran S（ASA），Vinoflex（PVC）和 Lucryl（PMMA）。

参考文献

Terluran Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide（B 567e/(8109) 9.90）, BASF Aktiengesellschaft, 1990.

通用塑料：Cycolac

ABS 远场超声波焊接非常成功。焊接强度随接头接触面处的压力、振动振幅和焊接时间的增加而改善。在焊接时间较长时，由于流量增加造成不理想的分子取向，焊接强度随焊接时间增加而轻微降低。

参考文献

Benatar A, Cheng Z: Far-field ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

通用塑料：Cycolac

ABS 的近场超声波焊接非常成功，其粘合强度比半结晶材料强。研究发现，通常最初增加焊接压力会增强焊缝强度，进一步增加焊接压力后，不理想的分子取向会使焊接强度降低。焊接时间的增加能够增加能量损耗和焊接强度。增加振动振幅会使能量损耗和焊接强度增加（虽然不如半结晶材料多），低振幅除外。

参考文献

Benatar A, Eswaran RV: Near-field ultrasonic welding of thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

37.3.4 振动焊接

通用塑料：Cycolac GDT64000（形状：注射成型平板）

这项研究对不同热塑性塑料轨道式振动焊接与线性振动焊接的焊接质量的区别进行了比较。控制参数的变化如下：

振幅：峰间值为 0.76 ~ 1.8mm（0.03 ~ 0.07in）。

合模压力：1.0 ~ 6.9MPa（145 ~ 1000psi）。

塌陷量：0.76 ~ 1.8mm（0.03 ~ 0.07in）。

结果显示，轨道式振动焊接的焊缝强度的增加接近 20%。同时，对于给定的合模力设置来说，和采用线性运动相比，采用轨道移动能以低 30% 的振动振幅达到相同的焊接强度。焊接低振动振幅值的优点是能够焊接更高的悬空壁，并能够在焊接机不出现过载的情况下设计更大型的工具用于大部件。

参考文献

Grewell DA, Benatar A: An application comparison of orbital and linear vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1999, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1999.

通用塑料：ABS

表 37.3 给出了 ABS 与自身和其他热塑性塑料进行振动焊接可达到的强度。

表 37.3 ABS 与自身和其他热塑性塑料进行振动焊接可达到的强度

材料系列	ABS					
抗拉强度[②]/MPa（ksi）	44（6.4）					
断裂伸长率[②]（%）	2.2					
试样厚度/mm（in）	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)
配合材料						
材料系列[①]	ABS	M-PPO	PC	PBT	PC/ABS	PEI
抗拉强度[②]/MPa（ksi）	44 (6.4)	45.5 (6.6)	68 (9.9)	65 (9.5)	60 (8.7)	119 (17.3)
断裂伸长率[②]（%）	2.2	2.5	6	3.5	4.5	6
试样厚度/mm（in）	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	3.2 (0.125)	6.3 (0.25)

（续）

材 料 系 列	ABS					
工艺参数						
工艺类型	振动焊接					
焊接频率	120Hz					
焊接接头特性						
焊接因子（焊接强度/较弱的初始材料强度	0.9	0.76	0.83	0.8	0.85	0.65
（名义上）断裂伸长率②（%）	2.1	1.45	1.7	1.6	1.8	1.14

① ABS 为丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚合物；M-PPO 为改性聚苯醚；PC 为聚乙二醇；PBT 为聚碳酸酯；PEI 为聚醚酰亚胺。

② $10^{-2}s^{-1}$的应变率。

参考文献

Stokes VK：Toward a weld-strength data base for vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

37.3.5 旋转熔焊

ABS

必须做到速度和轴向压力的正确结合，ABS 焊接才可达到最大焊接强度，它是基体材料强度的 70%。

参考文献

Tappe P, Potente H：Newfindings in the spin welding of plastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

37.3.6 红外线焊接

ABS

研究评估了来自石英卤素灯（0.89μm 时最大输出量）的红外线能量对一些有颜色（蓝色、绿色、橘红色、黄色和红色）的 ABS 的加热特性。

试验结果显示，在光谱中的颜色从红色到蓝色变化时传输量增加。也就是说，虽然光谱的红色部分中光谱输出较大，但是与其他颜色相比，红色吸收更多的能量。因此，不同颜色的聚合物采用红外线焊接的表现是不相同的。不仅涂料与聚合物间有相互作用，例如由白色（二氧化钛）、黑色（炭黑）或其他色料引起的焊接性差异，而且，制品颜色也影响所需的加热时间和加热深度。

参考文献

Grimm RA, Yeh H：Infrared welding of thermoplastics. Colored pigments and carbon black levels on transmission of infrared radiation. ANTEC 1998, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Atlanta, May 1998.

37.3.7 搅拌摩擦焊接

ABS（形状：压缩模塑平板）

已经证明 ABS 的搅拌摩擦焊接是一种可行的连接工艺，其拉伸强度是基体材料强度的 96%。

焊接热塑性塑料需要借助于带有固定模板而不是旋转轴肩的特殊工具，该模板需可控制温度来优化摩擦搅拌焊过程。这种带有平头销的工具不是合格的螺纹工具，但它带有的笔直锥形销很有效果。

车床主轴速度是热塑性塑料搅拌摩擦焊接中最重要的参数。

参考文献

Sorensen CD, Nelson TW, Strand S, Johns C, Christensen J: Joining of thermoplastics with friction stir welding. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

37.3.8 溶剂焊接

泰可诺聚合物：TFX-450（形状：注射成型 ASTM 弯曲试验样条）

在 ABS 和耐冲击聚苯乙烯的溶剂焊接中，为评估二氯甲烷的替代物进行了调查。试验考虑了 14 种候选溶剂。将这些溶剂划分成三种普通种类——传统溶剂，绿色溶剂和清洁溶剂。

研究结果显示，溶剂挥发率在粘合强度的变化中非常重要。尤其是高蒸气压力的溶剂在所有案例中都表现出优良性能。这显示，必须在粘合周期时间和空气中溶剂挥发量间作出取舍。

丙酮胜过二氯甲烷基线。因此，如果能找到合适的降低丙酮低闪点的爆炸危害的测量方法，这种溶剂就变成诱人的候选品。

绿色溶剂的低溶解性参数使它们从力学性能角度上成为不被接受的候选品。除此之外，虽然清洁溶剂、乳酸乙酯的溶解性参数接近乙酸甲酯的溶解性参数，但是它们比其他候选品表现欠佳。

N-甲基-2-吡咯烷酮与乙酸甲酯基线相比，其性能很差，然而，如果升高温度，并置于正压力或真空条件，可从这种清洁溶剂粘合法中得到足够的性能。

参考文献

Desai J, Barry CMF, Mead JL, Stacer RG: Solvent welding of ABS and HIPS. A case study in methylene chloride substitution. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

ABS（形状：管道）

为调查 ABS 液状粘固剂性能，对 ABS 管道中液状粘固剂接头进行研究以确定在管道和插口间粘合处的机械强度和粘合特性。用 TangitABS 液体粘合剂（由汉高股份有限公司制造）连接插口和插座。

液体粘固剂接头的强度取决于接头的固化时间。固化时间为 60 天的接头所达到剪切强度为 14MPa（2030psi）。在 ABS 液体粘固剂中使用溶解剂会溶解聚合物的表面，在横穿接头的表面上出现难以检测出的由液体粘固剂形成的轮廓。

参考文献

Tjandraatmadja GF, Burn LS: A study of the solvent cement bond for PVC and ABS pipe joints. Plastics Pipes XI, Conference proceedings, Munich, Germany, September 2001.

通用塑料：Cycolac

Cycolac ABS 树脂可用丙酮、二氯甲烷或 MEK 进行溶剂焊接。采用 4 : 1 比例混合的三氯乙烯/MEK 能将 Cycolac ABS 树脂与改性聚苯醚焊接到一起。

参考文献

Engineering Themoplastics Design Guide, Supplier design guide, GE Plastics.

巴斯夫股份公司：Terluran

通过使用溶剂如丁酮（MEK）、丙酮、乙酸乙酯、四氯乙烯和环己酮，Terluran 模制品能与 Luran S（ASA）、Luran 378P 和 388S（SAN）粘合到一起。

参考文献

Terluran Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide（B 567e/(8109) 9.90）, BASF Aktiengesellschaft, 1990.

陶氏化学：Magnum CLR95（特征：透明）

大多数溶解剂用于透明 ABS 时均获得较好的性能，本试验对增塑聚氯乙烯管与刚性透明热塑性塑料的可粘合性/相容性进行了评估。然而，直链三氯甲烷引起明显的贯穿诱剂的碎裂，丙酮引起的碎裂较之要少。当溶剂是丙酮直链或环己酮时，TABS 的最大负荷难以令人满意或处在边缘范围。将管插入由 TABS 制成的诱剂中并不困难。虽然少量环己酮经常用于改善装配松弛，但是在这种情况下应该避免使用环己酮，因为环己酮对粘合强度有负面影响。有利于粘合强度的首选溶剂是1，2-二氯乙烷。由于环己酮中大量三氯甲烷引起的碎裂，推荐 MEK 与三氯甲烷的混合比例超过 80：20。

参考文献

Haskell A：Bondability/compatibility of plasticized PVC to rigid, transparent thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

通用塑料：Cycolac

粘合 ABS 的有效溶剂是丙酮、环己烷、二甲基甲酰胺、1，2-二氯甲烷、二氯甲烷、四氢呋喃和甲苯。

不溶于 ABS 的溶剂有乙酸乙酯、异丁烯酸甲酯和二甲苯。

参考文献

Techniques: *Adhesive Bonding*, *Solvent Bonding*, *and Joint Design*, Supplier technical report（#SR-401A）, Borg-Warner Chemicals, Inc., 1986.

37.3.9 粘合剂连接

ABS

针对真空等离子体预处理对 ABS 粘合剂强度的影响进行了研究。采用的两种高强度环氧粘合剂是 Eccobond 2332（一种单组分粘合剂）和 Eccobond 45W1（一种双组分粘合剂）。Eccobond 2332 在 120℃（248℉）时固化需要 1h，Eccobond 45W1 与 Catalyst 15 按 1：1 的比例混合，在室温下固化需要 24h。等离子处理样本在等离子处理后一天之内胶合在一起。

结果显示，等离子预处理样本的粘合强度值是未经处理的样本的 3 倍。

参考文献

Lippens P：Vacuum plasma pre-treatment enhances adhesive bonding of plastics in an environmentally friendly and cost effective way. Joining Plastics 2006, Conference proceedings, London, UK, April 2006.

通用塑料：Cycolac GPM 6300

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失

效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表37.4中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表37.4中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表37.4 采用乐泰公司的粘合剂对Cycolac GPM 6300 ABS与ABS进行粘接的剪切强度

［单位：MPa（psi）］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
非填充树脂 3rms	6.6 (950)	>24.1① (>3500①)	>23.1② (>3350②)	>24.1① (>3500①)	2.1 (300)	>24.1① (>3500①)
粗加工的 48rms	9.7 (1400)	>24.1① (>3500①)	>23.1② (>3350②)	>24.1① (>3500①)	9.0 (1300)	>24.1① (>3500①)
抗氧化剂 0.1% Irgaphos 168， 0.16%抗氧剂245， 0.04%抗氧剂1076	6.6 (950)	>24.1① (>3500①)	>23.1② (>3350②)	>24.1① (>3500①)	2.1 (300)	>24.1① (>3500①)
UV稳定剂 0.4% UV 5411， 0.4% UV 3346， 0.1%抗氧剂1076	6.6 (950)	>24.1① (>3500①)	>23.1② (>3350②)	>24.1① (>3500①)	2.1 (300)	>24.1① (>3500①)
阻燃剂 13.5% DE83R， 3% Chlorez 700 S， 4% 772VHT抗氧化剂	6.6 (950)	>24.1① (>3500①)	>23.1② (>3350②)	>24.1① (>3500①)	2.1 (300)	>24.1① (>3500①)
防烟剂 5%防火墙ZB硼酸锌	6.6 (950)	>24.1① (>3500①)	>23.1② (>3350②)	>24.1① (>3500①)	2.1 (300)	>24.1① (>3500①)
润滑剂 0.2%乙撑双硬脂酰胺	6.6 (950)	>24.1① (>3500①)	>23.1② (>3350②)	>24.1① (>3500①)	2.1 (300)	>24.1① (>3500①)
玻璃填充剂 20% 3450型玻璃纤维	6.6 (950)	>24.1① (>3500①)	>23.1② (>3350②)	>24.1① (>3500①)	2.1 (300)	>24.1① (>3500①)

（续）

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/ Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
着色剂 4% 7526 着色剂	6.6 (950)	>24.1① (>3500①)	>23.1② (>3350②)	>24.1① (>3500①)	2.1 (300)	>24.1① (>3500①)
抗静电 3% Armostat 550	>24.1① (>3500①)	>24.1① (>3500①)	>23.1② (>3350②)	>24.1① (>3500①)	2.1 (300)	>24.1① (>3500①)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

② 由于块状剪切试样的严重形变，试验在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就停止了。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：Prism 401 和 Super Bonder 414 瞬间粘合剂、Flashcure 4305 和乐泰 3105（一种光固化丙烯酸粘合剂）产生的粘合强度比 ABS 基体高。H3000 和 H4500 超速结构粘合剂、3030 粘合剂、HysolE-90FL 和 E-20HP 环氧树脂和 Hysol3631 热熔融粘合剂达到的粘合强度未达到基体失效的程度，但是性能出人意料的好。添加一种抗静电物会使 ABS 的粘合强度显著增长。Hysol 1942 和 7802 热熔粘合剂总是获得最低粘合强度。

表面处理：当使用 Black Max380 瞬间粘合剂和 Depend 330 时，表面粗糙化处理能够使粘合强度显著增长。表面粗糙化对 Prism 401、Prism 4011、超级 414 瞬间粘合剂，乐泰 3105 和 3311 光固化粘合剂的影响并不明显，因为这些粘合剂产生的接头强度比处理过和未处理的 ABS 基体都要高。同时，它对联合使用 Prism Primer 770 和 Prism 401 或联合使用 Prism 4011 医疗装置瞬间粘合剂和 Prism Primer 7701 的影响也不明显。

其他信息：未固化的超能胶会引起 ABS 的应力开裂，所以应从表面快速移除任意过量的粘合剂。ABS 与丙烯酸粘合剂相容，但是在粘合剂固化之前会被催化剂侵蚀。应从表面快速移除任意过多的催化剂。ABS 与厌氧粘合剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

ABS

ABS 能使用厌氧粘合剂、超能胶、紫外线粘合剂、环氧基树脂粘合剂和结构丙烯酸粘合剂粘合。

参考文献

The Engineers Guide to Adhesives, Supplier design guide, Permabond Engineering Adhesives.

通用塑料：Cycolac

表 37.5 给出了通用粘合剂体系与 ABS 的相容性。

表 37.5 通用粘合剂体系与 ABS 的相容性

特性评估	材料评估	普通粘合剂组的兼容率①				
		丙烯酸树脂	氨基甲酸酯	氰基丙烯酸盐粘合剂②	环氧基树脂	硅胶
强度	Gycolac ABS	1	4	1	3	5
抗冲击性	Gycolac ABS	2	1	5	4	4
间隙填充	Gycolac ABS	2	1	5	3	1
固化时间	Gycolac ABS	2	5	1	3	3
施工方便	Gycolac ABS	3	4	1	3	2

① 兼容率指南：1 为优，2 为很好，3 为好，4 为一般，5 为差。这些等级是通用化的，并且会随特殊品牌而变化。应在选择粘合剂之前评估化学兼容性以避免发生应力开裂。

② 应力开裂是氰基丙烯酸盐粘合剂的一个缺陷。基体化学兼容性的仔细评估是值得推荐的。

参考文献

Techniques: Adhesive Bonding, Solvent Bonding, and Joint Design, Supplier Technical Report (#SR-401A), Borg-Warner Chemicals, Inc., 1986.

37.3.10 机械固定连接

拜耳：Lustran 448

自攻螺钉和自攻螺纹螺钉：表 37.6 列出 Lustran ABS 树脂的攻螺纹螺钉数据。这些数据是将螺钉安装在制造商推荐的钻孔径中获得的。螺纹凸台外径是螺钉外径的接近两倍。

表 37.6 Lustran ABS 树脂的攻螺纹螺钉数据

螺钉尺寸和类型	螺钉长度/mm (in)	钻孔径直径/mm (in)	驱动扭矩/Nm (lb·in)	推荐拉紧扭矩/Nm (lb·in)	剥离扭矩/Nm (lb·in)	螺钉拔出力/N (lb)
#6, 23 型	9.5 (0.375)	3.0 (0.120)	0.28 (2.4)	0.53 (4.7)	1.02 (9.1)	936 (210)
#6, 25 型	12.7 (0.500)	3.0 (0.120)	0.23 (2.0)	0.63 (5.6)	1.44 (12.7)	856 (193)
#6, Hi-Lo	19.0 (0.750)	2.9 (0.115)	0.34 (3.0)	0.94 (8.3)	2.14 (19.0)	961 (216)
#8, 23 型	12.7 (0.500)	3.5 (0.136)	0.45 (4.0)	0.75 (6.7)	1.36 (12.0)	1616 (363)
#8, 25 型	14.3 (0.562)	3.7 (0.146)	0.43 (3.8)	1.16 (10.3)	2.62 (23.2)	2168 (487)

参考文献

Engineering Polymers. Joining Techniques. A Design Guide, Supplier design guide (5241 (7.5M) 3/01), Bayer Corporation, 2001.

通用塑料：Cycolac

扣合装配：在简单拉伸应用中，Cycolac 树脂的典型设计限制是应变的 0.75%。然而，在扣合接头中，装配干扰阶段许用应变的通用基准线将达到 5%。扣合接头允许如此高的应

变水平时存在一些必需条件：第一，必须将接头设计成一旦组装后就不变形的。其次，经受高应力的扣合接头不能遭受多次组装和循环拆卸，这种重复组装的累积效应将导致高应力扣合接头的完全破坏。最终，应注意到5%的应力水平仅仅是通用基准线，在任意给定的扣合接头上，许多几何因素会影响实际的应变水平。基于这种原因，对制品原型进行的试验数据必须确切，一种特殊的扣合接头设计可提供可接受的性能。

自攻螺钉和自攻螺纹螺钉：在非微发泡等级中通常不推荐使用攻螺纹螺钉，尤其在应用载荷小和振动值最小时。这种类型的螺钉需切制螺纹并开槽以处理切屑。孔的深度应比螺钉的长度稍长以贮藏这些切屑。

滚牙螺钉被推荐用于发泡等级，可较好地用于重复组装，并能由在螺纹形成或保压期间的损失代替。因为这些螺钉使材料与螺纹一致，并能导致高应力区域的发展，在没有发泡的塑料制品中应当慎重使用这种螺钉类型。

钻孔径应该等于攻螺纹螺钉的分度圆直径，以及滚牙螺钉分度圆直径的80%。螺纹结合的最小深度应等于螺纹主径的两倍。渗透深度的轻微增长会实现拔出强度的显著增长，但是，当渗透深度为定值时，螺纹直径的增长仅引起拔出强度的微小变化。

在一些应用中，接收自攻螺纹螺钉需要优先考虑使用底座。这些紧固件会在组件上造成切口效应，且螺纹孔周围的材料体积应该足够多以吸收螺纹应变。研究结果显示，底座直径应该是钻孔径的2~3倍，高度应该大于底座直径的2倍。应该考虑底座的厚度，它的基底会在制品表面接触处产生难看的缩痕。

根据应用需求，底座盖的使用有很多优点。底座盖是设计成压合到塑料底座上的帽状金属紧固件，它能固定底座以阻止底座分裂，并在使用螺纹紧固时允许较高的扭矩应力。塑料底座与其上的盖需要紧密配合。

参考文献

Cycolac ABS Resin Design Guide, Supplier design guide (CYC-350 (5/90) RTB), General Electric Plastics, 1990.

37.4 丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯共聚物

37.4.1 概述

巴斯夫股份公司：Luran S（特征：天然树脂）

Luran S 挤压坯和模具可以使用触点式插座焊或旋转焊接。在某些情况下，会借助于高频率和超声波焊接。也可以使用超声波技术将 Luran S 粒料与其他热塑性塑料焊接到一起，例如 SAN、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯、聚氯乙烯和聚丙烯酸甲酯。

参考文献

Luran S Acrylonitrile Styrene Acrylate Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 566 e/10.83), BASF Aktiengesellschaft, 1983.

37.4.2 热工具焊接

拜耳：Centrex

推荐用于 Centrex SAS 的加热板焊接参数如下：

加热板温度：230～410℃（446～770℉）。

焊接压力：0.4～0.8N/mm²（58～116psi）。

参考文献

Hot Plate Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

37.4.3 超声波焊接

拜耳：Centrex

在20kHz的频率下，Centrex SAS超声波焊接的推荐振幅是20～35μm。

参考文献

Ultrasonic Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

37.4.4 振动焊接

通用塑料：ASA

表37.7给出了丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯共聚物与自身的振动焊接可达到的强度。

表37.7 丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯共聚物与自身的振动焊接可达到的强度

材料家族	丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯（ASA）
拉伸强度①/MPa（ksi）	32.5（4.7）
断裂伸长率（%）	2.9
试样厚度/mm（in）	6.3（0.25）
配合材料	
材料家族	丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯（ASA）
拉伸强度①/MPa（ksi）	32.5（4.7）
断裂伸长率（%）	2.9
试样厚度/mm（in）	6.3（0.25）
工艺参数	
工艺类型	振动焊接
焊接频率	120Hz
焊接接头性能	
焊接因子（焊缝强度/初始材料强度）	0.46
断裂伸长率（%）	0.9

① 应变速率为$10^{-2}s^{-1}$。

参考文献

Stokes VK: Toward a weld-strength data base for vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

37.4.5 激光焊接

巴斯夫股份公司：Ultraform

表37.8列举了适用于激光焊接的Luran S混合物。

表 37.8 适用于激光焊接的 Luran S 混合物

传输元件	吸收元件
KR2864C	KR2864C
776 S	776 S 或 2866 C
777 K	777 K 或 757 G
757 G	777 K 或 757 G
2861/1 C	757 G 或 2866 C
2864 C	777 K 或 757 G
2863 C	2866 C
797 S	777 K 或 2866 C

参考文献

Transmission Laser-Welding of Thermoplastics, Technical Information (WIS 0003 e 01. 2001), BASF Aktiengesellschaft, 2001.

37.4.6 溶剂熔接

三菱丽阳：Shinko-Lac

使用有机溶剂可以很容易地将由 Shinko-Lac ASA 制成的产品粘合起来。推荐使用甲基乙基酮、二氯化乙烯或二氯甲烷。Shinko-Lac ASA 可在上述提到的任意溶剂中溶解，得到浓度为 5% ~10% 的溶液。

参考文献

Shinko-Lac ASA Weatherable and Heat Resistant ASA Resin, Supplier design guide (9011-1000 (H) B), Mitsubishi Rayon Company, 1990.

巴斯夫股份公司：Luran S（特征：天然树脂）

Luran S（ASA）制品能用 2-丁酮、二氯乙烯和环己烷等溶剂连接到一起。这些溶剂可用于将不同 Luran S 类型制成的模制品焊接到一起，而且，Luran S 制品能与 Terluran（ABS）或 Luran 378、388S（SAN）焊接到一起。

参考文献

Luran S Acrylonitrile Styrene Acrylate Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 566 e/10. 83), BASF Aktiengesellschaft, 1983.

37.4.7 粘合剂连接

通用塑料：Geloy XP1001-100

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm ×25.4mm ×3.175mm（1in ×1in ×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm

(0.03in)，横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表37.9中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表37.9中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表37.9 采用乐泰公司的粘合剂对Geloy XP1001-100 ASA与ASA进行粘接的剪切强度

[单位：MPa（psi）]

材料成分	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
无填充树脂 4rms	>11.4① (>1650①)	>12.1① (>1750①)	>12.1① (>1750①)	>11.7① (>1700①)	6.6 (950)	9.0 (1300)
粗加工的 28rms	>11.4① (>1650①)	>13.1① (>1900①)	7.9 (1150)	>12.8① (>1850①)	4.8 (700)	9.0 (1300)
抗氧化剂 0.2%抗氧剂245	>11.4① (>1650①)	>12.1① (>1750①)	>12.1① (>1750①)	>11.7① (>1700①)	6.6 (950)	9.0 (1300)
UV稳定剂 0.5%苯三唑甲酚770， 0.5%苯三唑甲酚P	>9.0① (>1300①)	>12.1① (>1750①)	>12.1① (>1750①)	>11.7① (>1700①)	6.6 (950)	9.0 (1300)
阻燃剂 20% F 2016	>11.4① (>1650①)	>12.1① (>1750①)	>12.1① (>1750①)	>11.7① (>1700①)	4.5 (650)	9.0 (1300)
抗冲改性剂 9%乳胶粘合剂EXL3330	>11.4① (>1650①)	>12.1① (>1750①)	>12.1① (>1750①)	>12.8① (>1850①)	6.6 (950)	9.0 (1300)
润滑剂 0.3% Mold Wiz INT SP8	>11.4① (>1650①)	>12.1① (>1750①)	>12.1① (>1750①)	>11.7① (>1700①)	6.6 (950)	9.0 (1300)
着色剂 1% Omnicolor Nectarine	>11.4① (>1650①)	>12.1① (>1750①)	>12.1① (>1750①)	>11.7① (>1700①)	6.6 (950)	9.0 (1300)
抗静电 1.5% Dehydat 93P	>11.4① (>1650①)	>12.1① (>1750①)	>12.1① (>1750①)	>11.7① (>1700①)	6.6 (950)	9.0 (1300)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就

行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：进行试验的三种丙烯酸树脂基粘合剂，即 Black Max 380、Prism 401 和 4305、以及 Super Bonder 414 瞬间粘合剂和 3030 粘合剂，使用它们所产生的结合强度比几乎所有丙烯腈/苯乙烯/丙烯酸酯 ASA 配方中的基材的强度都高。乐泰 3105（一种光固化丙烯酸粘合剂）、H3000 和 H4500 超速结构粘合剂、Hysol U-05FL 聚氨酯和 Hysol 3631 热熔粘合剂未达到基体强度等级，但在丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯上性能很好。3340 光固化粘合剂、Hysol 3651 热熔融粘合剂在丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯上获得最低的强度。

表面处理：不能确定将 Prism Primer 770 与 Prism 401 瞬间粘合剂一起使用或将 Prism 4011 医疗设施瞬间粘合剂与 Prism Primer 770 一起使用时的影响，因为对多数评估的制剂来说，填充和未填充丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯都会达到基体失效。

其他信息：未固化的超能胶引起 ASA 的应力开裂，所以应从表面快速移除任意过量的粘合剂。ASA 与丙烯酸粘合剂相容，但是在粘合剂固化之前会被催化剂侵蚀，应从其表面快速移除任意过多的催化剂。ASA 与厌氧粘合剂不相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

三菱丽阳：Shinko-Lac

对于 Shinko-Lac 丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯与木材或金属的粘合来说，根据用途，推荐使用氯丁橡胶或环氧树脂制成的粘合剂。

参考文献

Shinko-Lac ASA Weatherable And Heat Resistant ASA Resin, Supplier design guide (9011-1000 (H) B), Mitsubishi Rayon Company, 1990.

37.4.8 机械固定连接

拜耳：Centrex 833

自攻螺钉和自攻螺纹螺钉：表 37.10 列出了试验测试的 Centrex 833 丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯树脂切制螺纹螺钉的数据。这些数据是将螺钉安装在制造商推荐的钻孔径中得到的。螺钉底座外径是螺钉外径的接近两倍。

表 37.10 试验测试的 Centrex 833 丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯树脂切制螺纹螺钉的数据

螺钉尺寸和类型	螺钉长度/mm (in)	钻孔径直径/mm (in)	驱动扭矩/Nm (lb·in)	推荐拉紧扭矩/Nm (lb·in)	剥离扭矩/Nm (lb·in)	螺钉拔出力/N (lb)
#6，23 型	9.5 (0.375)	3.0 (0.120)	0.35 (3.1)	0.54 (4.8)	0.92 (8.1)	760 (171)
#6，25 型	12.7 (0.500)	3.0 (0.120)	0.29 (2.5)	0.69 (6.1)	1.51 (13.3)	803 (181)
#6，Hi-Lo	19.0 (0.750)	2.9 (0.115)	0.31 (2.8)	0.91 (8.0)	2.10 (18.5)	1242 (279)
#8，23 型	12.7 (0.500)	3.5 (0.136)	0.59 (5.2)	0.74 (6.5)	1.03 (9.2)	1209 (272)
#8，25 型	14.3 (0.562)	3.7 (0.146)	0.41 (3.6)	1.01 (9.0)	2.32 (19.7)	1800 (405)

参考文献

Engineering Polymers. Joining Techniques. A Design Guide, Supplier design guide (5241 (7.5M) 3/01), Bayer Corporation, 2001.

37.5 苯乙烯-丙烯腈共聚物

37.5.1 概述

巴斯夫股份公司：Luran（特征：透明的）

Luran 挤出原料和模制品的焊接可采用触点式插座焊接、旋转焊接和超声波焊接技术。

参考文献

Luran Product Line, Properties, Processing, Supplier design guide (B 565 e/10.83), BASF Aktiengesellschaft, 1983.

37.5.2 超声波焊接

拜耳：Lustran 苯乙烯丙烯腈

在 20kHz 的频率下，Lustran 苯乙烯丙烯腈的超声波焊接推荐振幅是 15 ~ 30μm。

参考文献

Ultrasonic Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

陶氏化学：Tyril 880B（注意：高丙烯腈含量）；**Tyril 990**（注意：低丙烯腈含量）

这个研究旨在研究哪种树脂可以与其本身以及其他树脂进行有效地超声波焊接，以及用来识别其最大焊接完整性。除了着眼于不同热塑性材料的焊接强度外，这项研究还探究了伽马射线和环氧乙烷杀菌对这些焊缝强度的影响。评估了保健行业中使用的包括苯乙烯丙烯腈（SAN）在内的多种树脂。

量身定做的 I 形梁试件用来测试拉伸强度以测定每个树脂在固态、非粘接试件时的初始强度，没有结合试件结构。这种基线测试的数据用于确定焊接后保持的强度占原始强度的百分比。无定形树脂最常用的能量传导器是一个 90°的对接接头，作为焊接结构。

不断尝试以使这个成为“现实”研究。焊接过程的目的是产生高强度的焊缝，并且保持部件的美观。已知的用于判断焊接好坏的一个最重要的因素是沿着接头两边观察到的焊瘤和溢出的数量。良好的焊接的另一个性质是焊接横截区域的完全浸润，但问题是，只有采用纯聚合物作为顶部样块才能看到完整的焊缝。

总的来说，树脂相容性、在部件中传输振动能量的能力和不同的玻璃化温度是产生优良焊缝的决定性特征。虽然在试验中没有显示，但应注意到树脂的焊接能力也是超声波焊接结构的一个函数。在研究使用的结构中焊接性优良的树脂在其他结构中的焊接性可能并不好。

本次研究中，苯乙烯丙烯腈树脂与其他所有树脂均可以某种方式进行超声波焊接。苯乙烯丙烯腈具有切口敏感性，从而导致试验中无数粒子的过早破坏，这在苯乙烯丙烯腈与其他易碎聚合物（如聚苯乙烯）的连接中最为明显。可以通过改变试样块设计的方法消除这个问题。然而，从“真实状态”的角度来看，应该在设计涉及到苯乙烯丙烯腈制品时注意这一现象。

与高丙烯腈含量的苯乙烯丙烯腈相比，低丙烯腈（AN）含量的苯乙烯丙烯腈在超声波焊接中显示出产生高强度的趋势。另一方面，在经环氧乙基灭菌后，低丙烯腈含量的苯乙烯丙烯腈显示出强度丧失的趋势，而高丙烯腈含量的苯乙烯丙烯腈并没有显示出这种趋势。众所周知，丙烯腈赋予苯乙烯聚合物改良的耐化学性。这就解释了为什么高丙烯腈含量树脂具有更好的抗环氧乙烷冲击性能。在这项短期研究中，伽马射线灭菌看起来并没有影响到苯乙烯丙烯腈的连接整体性。

参考文献

Kingsbury RT：Ultrasonic weldability of a broad range of medical plastics. ANTEC 1991，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Montreal，May 1991.

陶氏化学：Tyril（特征：透明）

采用超声波焊接将丙烯腈-苯乙烯共聚物树脂与其自身或与苯乙烯模塑部件粘合，均可获得良好的结果。

参考文献

Tyril SAN Resins Engineering and Fabrication Guidelines，Supplier design guide（301-01318-290 RID），Dow Chemical，1990.

37.5.3 溶剂焊接

陶氏化学：Tyril（特征：透明）

大量有效的溶剂将可用于 Tyril 树脂制造的部件间的焊接。若需要一种速干溶剂，一般会使用二氯甲烷。丁酮及 30% 的甲基丙烯酸甲酯和 70% 的乙酸乙酯混合物都是有效的中等干溶剂。为增加稠度，这些溶剂可接纳多达 15%（质量分数）的 Tyril 树脂微粒。

参考文献

Tyril SAN Resins Engineering and Fabrication Guidelines，Supplier design guide（301-01318-290 RID），Dow Chemical，1990.

陶氏化学：Tyril（特征：透明）

试验对增塑 PVC 管和刚性透明热塑性塑料的溶剂粘合性/相容性进行了评估，结果表明要避免将丁酮或大量的二氯甲烷及苯乙烯混合物用于 SAN。当使用二氯甲烷或丙酮作为溶剂时，脆裂是很明显的。要使用相当惊人的最大负载来测试丙烯腈苯乙烯鲁尔接口。结果显示，对于丙烯腈苯乙烯来说，选择的溶剂是比例在 10：90 和 50：50 之间的环己酮和丁酮混合物。

参考文献

Haskell A：Bondability/compatibility of plasticized PVC to rigid，transparent thermoplastics. ANTEC 1989，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，New York，May 1989.

巴斯夫股份公司：Luran（特征：透明）

当使用溶剂进行粘合时，Luran 等级和芳烃的抗性区别是很明显的。虽然可以使用甲苯将 Luran358N 和 368R 粘接起来，但 Luran 378P 和 388S 需要使用更强有力的溶剂，例如乙酸乙酯、二氯乙烯和环己酮。由 Luran 358N 和 368R 及 Luran 378P 和 388S 制造的部件可以使用溶剂将其粘接到相同材料制造的部件或同一批次的部件上。

参考文献

Luran in Processing，Supplier design guide，BASF Aktiengesellschaft.

切尔工业：浮油松香

要使用不同的溶剂进行溶剂焊接，例如丁酮、丙酮、苯乙烯和三氯乙烯。最好使用这些化学物质来溶解大约5%的苯乙烯树脂。

参考文献

Starex SAN, Supplier design guide, Cheil Industries.

37.5.4 粘合剂粘接

孟山都公司：Lustran 31

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表37.11中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表37.11中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表37.11 采用乐泰公司的粘合剂对Lustran 31 SAN与SAN进行粘接的剪切强度

［单位：MPa（psi）］

材料成分	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
非填充树脂 3rms	3.5 (500)	>26.2① (>3800①)	3.1 (450)	>25.2① (>3650①)	5.5 (800)	19.3 (2800)
粗加工的 18rms	>5.9① (>850①)	>26.2① (>3800①)	7.9 (1150)	>25.2① (>3650①)	5.5 (800)	>20.0① (>2900①)
紫外线稳定剂 0.31%苯三唑甲酚770，0.31%苯三唑甲酚328	>14.1① (>2050①)	>26.2① (>3800①)	3.1 (450)	>41.0① (>5950①)	1.4 (200)	19.3 (2800)

（续）

材料成分	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
阻燃剂 4%稳定剂 HBCD-SF，1%氧化锑	3.5（500）	12.8（1850）	>6.9①（>1000①）	10.7（1550）	5.5（800）	>19.3①（>2800①）
冲击改性剂 29%乳胶粘合剂 EXL3330	6.9（1000）	>26.2①（>3800①）	>10.0①（>1450①）	>25.2①（>3650①）	>7.6①（>1100①）	19.3（2800）
润滑剂 0.1%硬脂酸钙硬脂酸盐 24-46	3.5（500）	>26.2①（>3800①）	>5.2①（>750①）	>25.2①（>3650①）	5.5（800）	19.3（2800）
内部脱模剂 5% Mold Wiz INT-33PA	5.2（750）	>26.2①（>3800①）	3.1（450）	>25.2①（>3650①）	5.5（800）	12.1（1750）
玻璃纤维 17%玻璃类型 3540	3.5（500）	>26.2①（>3800①）	3.1（450）	>25.2①（>3650①）	5.5（800）	19.3（2800）
着色剂 1%汁液红	3.5（500）	>26.2①（>3800①）	9.7（1400）	>25.2①（>3650①）	>6.2①（>900①）	19.3（2800）
抗静电 3% Armostat 550	>12.8①（>1850①）	>26.2①（>3800①）	3.1（450）	>25.2①（>3650①）	5.5（800）	>20.7①（>3000①）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：Prism 401、超级粘合剂 414 瞬间粘合剂及 Flashcure 4305 光固化胶在所有评估的剂型上产生比 SAN 基材更强的粘合（包含阻燃剂的剂型除外）。乐泰 3105（一种光固化丙烯酸粘合剂）和乐泰 3030 粘合剂可达到其次的粘合剂强度。所有经试验的用于 SAN 不同级别的粘合剂的整体粘合性是很好的（乐泰 3651 和 Hysol 7804 热熔粘合剂除外）。

表面处理：表面粗糙化，或者不产生任何影响，或者带来 SAN 粘合强度的显著增长。对于所有评估的制剂来说，将 Prism Primer 770 和 Prism 401 瞬间粘合剂结合使用，或者将

Prism 4011 医疗设备瞬间粘合剂和 Prism Primer 7701 结合使用，会使 SAN 的粘合剂强度显著降低。

其他信息：SAN 能与丙烯酸粘合剂相容，但在粘合剂固化之前，会被其活化剂所侵蚀，应立即从 SAN 表面将任何过量的活化剂移除。SAN 与厌氧粘合剂不相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier Design guide, Loctite Corporation, 2006.

拜耳：Lustran 苯乙烯丙烯腈

紫外线固化粘合剂最适用于像 Lustran SAN 那样的透明材料，它能在几秒之内固化并且具有很高的粘合强度。双组分丙烯酸粘合剂通常具有很高的粘合强度。

参考文献

Engineering Polymers. Joining Techniques. A Design Guide, Supplier design guide (5241 (7.5M) 3/01), Bayer Corporation, 2001.

陶氏化学：Tyril（特征：透明）

可以使用多种通用橡胶基粘合剂将由 Tyril 制造的部件粘接到一些无塑性材料（如金属，木材和玻璃）上。在 Tyril 部件和塑性 PVC 模塑部件、莎纶树脂或纤维素塑料部件之间同样能产生很好的粘合连接。

注意：很难将聚苯乙烯部件通过添加剂粘接到相同材质的塑料上。这个问题的有效解决方法是采用模塑成型 Tyril 部件。在选择粘合剂时，要进行试验以确保并没有由于应力断裂而引起的粘合部件失效。

参考文献

Tyril SAN Resins Engineering and Fabrication Guidelines, Supplier design guide (301-01318-290 RID), Dow Chemical, 1990.

37.6 苯乙烯-马来酸酐共聚物

37.6.1 概述

阿科：Dylark

所有的 Dylark 树脂在包括机械连接、溶剂焊接、添加剂焊接、旋转焊接、超声波焊接和振动焊接的多种焊接装配工艺中表现优良。

能使 Dylark 制品的接合表面产生熔融的任意技术都能成功地运用于组装操作。产生摩擦热的振动对于大型制品的连接是极有用的。旋转焊接能够将 Dylark 树脂制品相对于另一制品进行旋转而产生摩擦热，这非常适用于圆制品。加热板或熔焊接通过加热表面即时与接合面接触以产生局部熔融的焊接。热熔（或挤锻压加工）用加热压板或探针使熔融区变平或使边缘处变形以产生组装。电磁感应焊接（EMI）通过控制用于接头接触面的专用塑料垫片中的金属微粒的电磁热产生熔融和焊接。

参考文献

DYLARK Engineering Resins Design Guide, Supplier design guide (ACC-P120- 882), ARCO Chemical Company, 1988.

37.6.2 超声波焊接

拜耳：Cadon

在频率为20kHz时，卡顿形状记忆合金（SMA）的超声波焊接推荐使用25～40μm的振幅。

参考文献

Ultrasonic Welding, *Supplier Design Guide*, Bayer MaterialScience AG, 2007.

阿科：Dylark

在相似熔融温度下，使用超声波焊接设备，Dylark树脂制品可以快速而经济地相互连接到一起，也可以连接到其他非结晶热塑性塑料上。

超声设备也用于Dylark树脂制品的熔融焊和定位焊中。

参考文献

DYLARK Engineering Resins Design Guide, Supplier design guide (ACC-P120-882), ARCO Chemical Company, 1988.

37.6.3 振动焊接

阿科公司：Dylark 480P16（形状：挤出薄板；加强件：16%玻璃纤维）

能达到约为29.5MPa（4280psi）的强度，这个强度仅仅是母体材料强度的35%。失效应变约为0.96%。在低焊接压力（0.52MPa（75psi）和0.9MPa（131psi））时能达到更高的强度，而在焊接压力更高时，焊接强度降低。与3.2mm（0.126in）的厚度相比，厚度为6.35mm（0.25in）的样本可达到的焊接强度和失效应变都要稍高一点。

T形接头的强度比对接接头的强度低很多。对于厚度为6.35mm（0.25in）的样本来说，T形接头的最高强度（17.7MPa，即2570psi）仅是对接焊缝最高强度（28.9MPa，即4190psi）的61%。

参考文献

Stokes VK: Vibration welding of glass-filled poly (styrene-co-maleic anhydride). *Journal of Adhesion Science and Technology*, 15 (10), p. 1213, 2001.

37.6.4 溶剂焊接

Nova化工（努发化工）：Dylark

适用于Dylark的溶剂类型有甲基乙基酮、二氯甲烷、二甲苯和甲苯。总的来说，与其他聚苯乙烯系树脂和聚碳酸酯良好适用的溶剂同样可用于Dylark。

参考文献

DYLARK, *Design for Assembly*, Supplier design guide, Nova Chemicals.

阿科：Dylark

一些溶剂能有效地将Dylark树脂模制品与相似制品或其他塑料材料的模制品连接到一起。选择的原则是，在溶剂蒸发后，使用可充分溶解结合部件的表面以使制品连接到一起的溶剂。这种方法的主要优势是快速，通常不需要接头表面处理，而且最终焊缝不依赖于分离的粘合剂的化学粘合。

溶剂焊接的关键限制是在处理溶剂时必须采取预防措施。通风、劳保用品和溶剂回收必须遵守联邦政府、环境保护局和地方法规的规定。

在聚苯乙烯、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯和聚碳酸酯中可获得良好使用的溶剂，如二氯甲烷或甲基乙基酮，也能较好地适用于所有的 Dylark 树脂。更厚的、蒸发更慢的溶剂粘合剂可通过将 10% ~20% Dylark 树脂溶解到其中来制备。

参考文献

DYLARK Engineering Resins Design Guide, Supplier design guide (ACC-P120- 882), ARCO Chemical Company, 1988.

37.6.5 粘合剂

Nova 化工（努发化工）：Dylark

可很好地适用于 Dylark 树脂的粘合剂系列基于丙烯酸粘合剂、氰基丙烯酸盐粘合剂或甲基丙烯酸酯粘合剂。在使用基于厌氧的粘合剂时应当小心，因为这些粘合剂一般与聚苯乙烯类型材料不相容。其中的一个关键因素是粘合剂的湿滑性以填充基体表面的任意不规则形状。这对于产生牢固可靠的连接来说是必需的。一些能与 Dylark 联合使用的商用粘合剂包括乐泰 Depend 330 和乐泰 Prism 401。

参考文献

DYLARK—Design for Assembly, Supplier design guide, Nova Chemicals.

阿科：Dylark

多种商用粘合剂可用于将 Dylark 树脂模制品与其他塑料、金属、陶瓷、玻璃和大多数其他物质连接到一起。通常，环氧基树脂、聚氨酯和丙烯酸树脂对模制 Dylark 树脂制品具有较好的适用性。硅酮橡胶粘合剂/密封剂和氰基丙烯酸盐粘合剂（瞬间粘合剂）也可较好地与 Dylark 树脂联合使用。

清洗和表面处理对所有粘合剂都非常重要，因为粘合剂必须与制品表面密切接触以达到最大粘合强度。必须遵守来自粘合剂制造商的表面处理、混合、应用和安全建议。

参考文献

DYLARK Engineering Resins Design Guide, Supplier design guide (ACC-P120- 882), ARCO Chemical Company, 1988.

37.6.6 机械连接

Nova 化工（努发化工）：Dylark

夹具/铆钉：孔洞和狭槽可通过金属夹推动螺母和塑料螺母插件中的螺钉将其模制到 Dylark 仪表板和控制台基体中，也可在仪表盘基体中钻上圆孔。模制狭槽或方孔应进行清洗并具有合适的半径和壁厚，也会避免厚薄变化应力增大。

铆钉：铆接是一种将各种物品与 Dylark 树脂扣合并获得最小拔出强度或剪切载荷的备选方法。使用铆钉连接的常见用途包括连接较少用途的部件或将地毯料制品连接到 Dylark 基材上。铆钉的推荐使用条件如下：

- 维持离任意边缘 13mm（0.50in）或更远的推荐距离。
- 使用一字形设计而不是楔形设计。这可用塑料在材料中穿孔而不引起由于材料的开裂

导致的制品破裂。

- 制品在钻孔区域应具有很好的支承以使制品的挠度最小，推荐使用嵌套或固定装置。

参考文献

DYLARK—Design for Assembly, Supplier design guide, Nova Chemicals.

阿科公司：Dylark

机械连接系统通常在将模制 Dylark 树脂制品组装到金属制品，机械装置，电气、电子部件，或其他塑料制品时使用。机械连接需要考虑的关键问题通常是，与金属紧固件连接时，Dylark 树脂模制品不能由于安装问题、负荷过度问题或接头设计质量问题而承受过应力。

虽然攻螺纹和模制螺纹能用于 Dylark 树脂制品，但最常用的连接系统使用不同类型的自攻螺钉，普通螺栓，螺母、螺纹金属嵌入物和铆钉。

在典型螺栓组装中，外螺纹和内螺纹都由钢铁或其他金属制成。由于这些连接件具有相对高的强度，塑料制品可能在连接件磨损前经受过应力。通常，在使用模制 Dylark 树脂制品时，遵守以下设计原则能避免上述问题：

1）塑料制品上位于连接件下面的被施加压力的区域应具有足够大的面积以分散夹持力和施加力。通常采用大头螺钉、凸缘螺母或垫圈来实现。这有利于避免引起破裂或长期松弛问题的应力产生（见图 37.2）。

2）涉及 Dylark 树脂制品的组装应该设计以成使塑料制品底部在发生大变形前正对着支承构件。这可以避免不必要的高弯曲应力。

3）使用自动扭矩控制扳手控制组装扭矩。在不能控制扭矩或由于其他原因导致组装扭矩高的情况下，使用台阶式垫圈或轴肩螺钉是非常有效的，因为金属与金属间接触会限制施加在塑料制品上的轴向力（见图 37.3）。

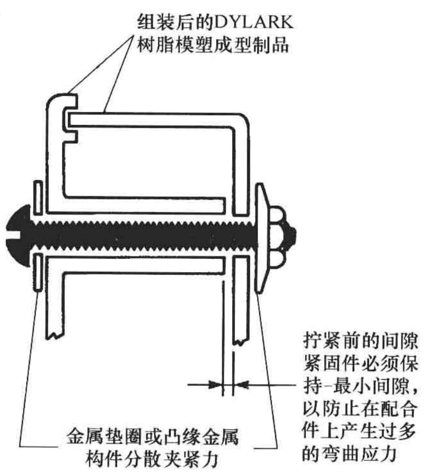


图 37.2 螺栓组装，Dylark 苯乙烯-马来酸酐共聚物。

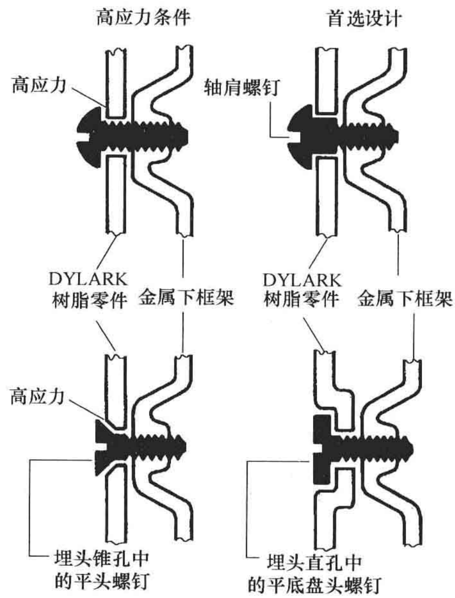


图 37.3 当装配扭矩不能控制时，应控制好 Dylark 苯乙烯-马来酸酐共聚物塑料制品中的应力值。

4）应该避免使用平头螺钉，除非能精确控制组装扭矩。螺钉头部锥形下侧的楔进作用容易产生损伤应力。如果螺钉头必须位于安装表面以下，则优先选用盘头螺钉和沉头孔。

攻螺纹螺钉和自攻螺纹螺钉：在大多数应用中，模制 Dylark 树脂制品用于一次装配。在这种情况下，或者在仅需有限次数的拆卸和组装的操作时，自攻螺纹螺钉的适用性非常好。自攻螺纹螺钉的种类很多，包括车制螺纹、冷挤压螺纹和这两种螺纹的组合。通常，Dylark 树脂制品优先选用切削螺纹，因为切削螺纹比压型螺纹对底座施加更少的环向应力。存在多种专用于塑料制品的自攻螺钉，这些螺钉适用于高容量、流水线生产，有优良的抗拔力，并且不会对设计恰当的 Dylark 树脂底座施加过多的应力。

与其他机械紧固件一样，必须将扭矩控制在允许范围内，底座尺寸必须合适以承受螺钉安装应力和外加负荷，螺钉头部下面的承载面积必须足够（见图 37.4）。

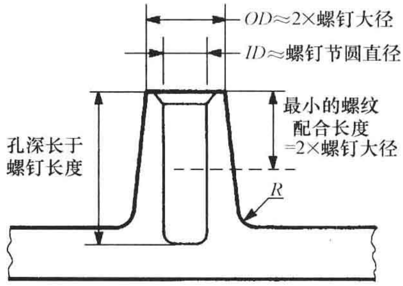
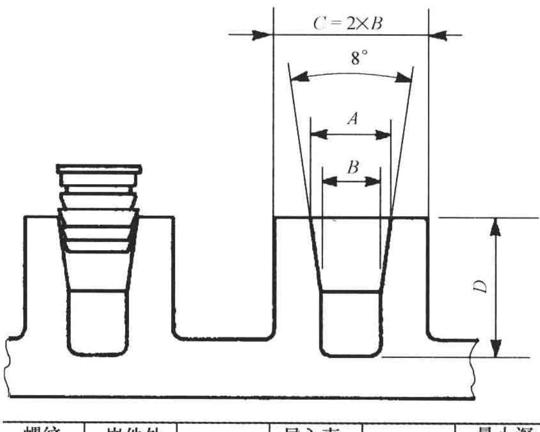


图 37.4 自攻螺纹螺钉的凸台设计指南，Dulark 苯乙烯-马来酸酐共聚物。

螺钉上用作保护或润滑的油会对工程树脂的终端使用性能产生不利影响。在有外加应力和没有外加应力的终端使用条件下，Dylark 树脂均显示了优越的性能。建议进行特定螺钉用油的试验。

螺纹机械镶嵌件：在塑料制品的组装中，由于使用防松机械螺母不方便且不经济，所以在需要频繁组装和拆卸时通常使用螺纹金属嵌件；同时也避免了自攻螺纹螺钉拆卸后再组装时引起的咬扣。在使用螺栓组装时，也必须考虑相同因素。除此之外，必须考虑装配底座的强度。

有多种能与 Dylark 树脂一起使用的螺纹金属嵌件。当超声波设备不可用或不能用时，可以通过加热嵌件的方式安装相似的螺纹金属嵌件。在安装配合螺钉时，将其他螺纹金属嵌件设计成压入、旋入或嵌入后膨胀的方式。这些嵌件的一部分在接受底座中产生了很高的环向应力，它们必须与充足的底座设计一起使用并在最终产品测试中核对。装配要求略低的部分和位于底座上的盖子可加工成经济的金属螺纹，它能加固底座以避免由自攻螺钉引起的底座胀裂。



螺纹尺寸	嵌件外径/in	长度/in	导入直径A/in	直径B/in	最小深度D/in
4～40	0.171	1/4	0.160	0.136	5/16
6～32	0.217	5/16	0.210	0.177	3/8
8～32	0.250	3/8	0.240	0.200	7/16
10～32	0.295	7/16	0.280	0.235	1/2
1/4～20	0.375	1/2	0.355	0.325	5/8

这些是典型值。由于超声波嵌件尺寸和设计不同，可以寻求嵌件设计商的建议

图 37.5 用于超声波安装嵌件的代表性凸台孔设计，Dylark 苯乙烯-马来酸酐共聚物。

超声波嵌件：在模制 Dylark 树脂制品中安装永久金属螺纹时，超声波嵌件是快速、经济、可靠的方法。嵌件通常由机器操作员嵌入到模铸机中正确的位置。在合理设计的 Dylark 树脂底座中（见图 37.5），由于在嵌入过程中嵌件周围塑料的均匀熔融，塑料超声法安装的嵌件将引起低残余

应力。

参考文献

DYLARK Engineering Resins Design Guide, Supplier design guide (ACC-P120- 882), ARCO Chemical Company, 1988.

37.7　丁二烯共聚物

37.7.1　概述

巴斯夫股份公司：Styrolux（特征：透明）

Styrolux 能采用加热板焊接、热脉冲焊接、超声波焊接、振动焊接和旋转焊接技术。产品精心选择的所采用的所有技术和焊接参数的最优化影响了到力学性能水平和焊接质量。影响结果的其他因数还包括要焊接到一起的制品的制造过程和接触表面的设计。

参考文献

Styrolux Product Line, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 583 e/(950) 12.91), BASF Aktiengesellschaft, 1992.

37.7.2　超声波焊接

巴斯夫股份公司：Styrolux 656 C（特征：高流动性，0.1mm（0.004in）厚；形状：薄膜）；**Styrolux 684 D**（特征：0.1mm（0.004in）厚；形状：薄膜）

图 37.6 和 37.7 显示了在超声波焊接中，机器参数的变化是怎样影响焊接强度的；同时也对远场辐射焊接的振幅做了对比，3∶1 的不适当的振幅变换能使焊接强度降低 60%；揭示了近场焊接中焊接强度和焊接时间的关系。

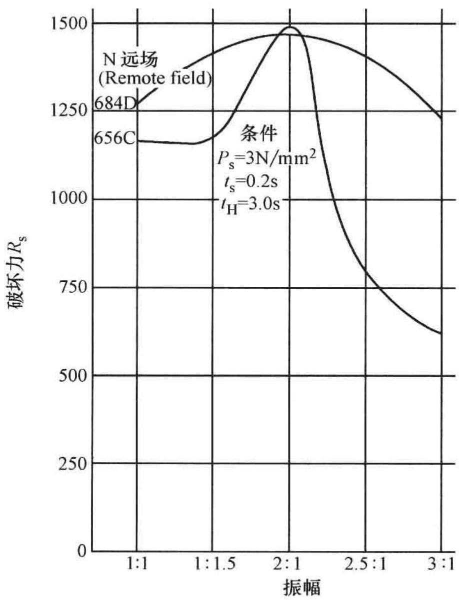


图 37.6　超声波焊接振幅对 Styrolux 丁二烯嵌段共聚物强度的影响。

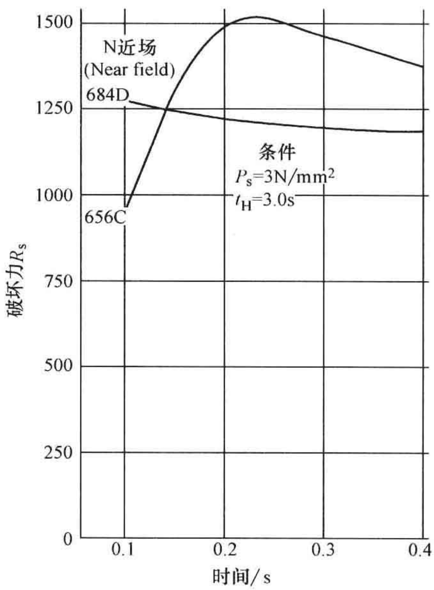


图 37.7　超声波焊接时间对 Styrolux 丁二烯嵌段共聚物强度的影响。

37.7.3 溶剂焊接

菲利普斯：K-Resin KR01（特征：透明）

试验对增塑 PVC 管和刚性透明热塑性塑料的溶剂粘合性/相容性进行了评估，除了 5.0~5.4kgf（11~12lbf）的值外，将丁二烯共聚物连接到管道上的几种溶剂的峰值载荷按临界值分类。这是由于不能保证所有接头都能承受 4.5kgf（10lbf）拉伸试验导致的较大变动。在使用任意含有环已酮的混合溶剂后，丁二烯共聚物都能产生符合要求的接合强度。使用每种溶剂都可以实现简单组装，但丙酮除外，因为它会引起开裂。结果显示，用于丁二烯的最佳溶剂是 80：20 比例的环已酮和二氯甲烷的混合物。

参考文献

Haskell A：Bondability/compatibility of plasticized PVC to rigid, transparent thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

第38章　砜基树脂

38.1　聚醚砜

38.1.1　概述

巴斯夫股份公司：Ultrason E（特征：透明，琥珀色）

在 Ultrason 成型过程中可以通过不同的连接技术形成牢固的连接。粘合剂可以在 Ultrason 和其他材料之间形成牢固的化学键从而使粘接更加牢固。其他形成牢固连接的方法是铆钉和焊接。

可拆卸连接是通过可拆卸连接件、螺钉以及螺栓形成的。形成螺纹连接可以在成型过程中，也可以固化后嵌入金属然后连接，例如，为了后面嵌入金属嵌件，可以在成型过程中利用超声波技术形成凹槽。

适合于热塑性塑料的传统连接技术同样适用于各种 Ultrason 产品，唯一的例外是高频焊接，其对于低功耗的热塑性塑料来说是不合适的。通常情况下，在焊接之前要进行干燥，防止焊接过程中水分的存在引起焊接区域在熔化阶段产生气泡。

焊接技术的选择取决于模具的几何形状和应力形式。事实上，成型内应力是不能完全避免的，特别是在使用 Ultrason 或其他材料制作厚壁产品时。表 38.1 举例说明了 Ultrason 与其他材料的焊接技术。

表 38.1　Ultrason 聚醚砜与其他材料的焊接技术

材　　料	适合的技术
织物	超声波焊接
（预处理的）金属箔	热工具焊接
其他塑料，如 PBT、ASA 和 ABS	超声波焊接

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 602 e/10.92), BASF Aktiengesellschaft, 1992.

38.1.2　热工具焊接

聚醚砜（增强材料：玻璃纤维）；**聚醚砜**（特征：非填充的）

这项研究得到了如下关于聚醚砜热焊接的结论：

1）在空气中老化后，焊缝的拉伸性能的降低比基体材料要快。当温度达到 230℃(446℉)时，未经增强改性的基体材料的强度保持性高于增强改性的材料。相反，相比于未经改性的基体材料来说，增强改性材料的拉伸性能保持性更高。

2）在220℃（428℉）时经空气老化4周，未经增强改性的聚醚砜焊接点的界面力学性能下降约17%，而增强改性的聚醚砜焊接点的界面力学性能上升约5%。但对于基体材料来说，两者均上升9%～12%。

3）在开水中浸没2周后，增强改性和未经改性的聚醚砜母料以及未经增强改性的焊接点的强度改变甚微。

4）在水浸没试验后，对界面以及焊缝和基体材料的重量影响很小（<2%）。

5）动态机械热力学分析表明在230℃（446℉）的空气中老化后 T_g 增高。在230℃（446℉）下老化7天，热平板焊接点的 T_g 从273℃（459℉）增加到244℃（471℉）。老化对母体材料的 T_g 没有影响。

6）对基体材料和焊缝的显微镜观察测试表明，老化与内部空洞的形成有关。空洞的数量和大小与降解的激烈程度有关。对于增强改性聚醚砜来说，拉伸断裂主要与空气老化后的基体失效以及开水浸没后的表面失效有关。

参考文献

Tavakoli SM: Effects of ageing on tensile properties and structure of linear friction and hot plate welds in polyethersulphone. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

聚醚砜（材料组成：30%玻璃纤维增强）

30%玻璃纤维增强的聚醚砜的热工具焊接的测试表明，在焊接过程中大流量的熔体会使纤维有平行于连接区域的倾向。另外，经加热后，材料对热工具的吸附使裂缝中充满气泡。对于热工具焊接来说，经30%玻璃纤维增强改性的聚醚砜的最大焊接因子（焊缝强度/母料的强度）是0.62。

参考文献

Potente H, Natrop J, Pedersen TK, Uebbing M: Comparison of three methods for welding glass-fibre reinforced PES. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

巴斯夫股份公司：Ultrason E（特征：透明，琥珀色）

Ultrason需要高的工具温度，因此传统的无接枝层的方法是不合适的。在热接触方法中，必须持续不断地除去粘附的残渣以保证工具的干净。

得益于高温的影响，存在一个明显的转变期，如果可能的话要低于1s，这就要求将温度降到熔点以下以保护金属表面。以下参数可以得到好的结果：

热工具温度：380～550℃（716～1022℉）。

加热时间：10～90s。

特殊的接头压力：2～5MPa（290～725psi）。

参考文献

Ultrason E, Ultrason S Product Line, Properties, Processing, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

38.1.3 超声波焊接

巴斯夫股份公司：Ultrason E（特征：透明，琥珀色）

建议超声波焊接采用的横截面面积为200cm²（31in²）或者更少，焊缝面积最大到10 cm²（1.6in²）。更大的区域需要两次或更多次的焊接处理，焊接可以同时进行，也可以一次之后再进行一次。焊接时间要短暂（2s），允许快速完成循环。焊接的几何形状必须符

合超声波焊接的要求。焊接参数取决于材料及模具的设计，以下参数可以获得特别好的结果：

频率：20 ~ 40kHz。

振幅：20 ~ 60μm。

焊接时间：0.1 ~ 2.0s。

特殊的焊接压力：1 ~ 5MPa（145 ~ 725psi）。

可获得的焊接效率，即焊缝的强度与材料强度的比率，在0.3 ~ 0.6范围内，实际值取决于材料及模具的设计。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

38.1.4 振动焊接

聚醚砜（增强材料：玻璃纤维）；**聚醚砜**（特征：非填充的）

这项研究得到了如下关于聚醚砜热焊接的结论：

1）在空气中老化后，焊缝的拉伸性能下降得比基体材料要快。在230℃（446℉）的空气中老化后，未经增强改性的焊缝和基体材料的线性摩擦力的保持性高于增强改性的材料。

2）在220℃（428℉）下经空气老化4周后，未经增强改性的（大约5%）和增强改性的（11%）线性摩擦的焊缝的横断面力学性能均有增加。对于基体材料来说两者大约增加了9% ~ 12%。

3）在开水中浸没2周后，增强改性的线性摩擦焊接缝的强度下降了25%，而未经增强改性的强度变化不明显。在相同的条件下，未经增强改性的和增强改性的聚醚砜基体材料的强度变化很小。

4）在水浸没试验后，对横断面、焊缝和基体材料的重量影响很小（<2%）。

5）对基体材料和焊缝的显微镜观察测试表明，老化与内部空洞的形成有关。空洞的数量和大小与降解的激烈程度有关。对于增强改性聚醚砜来说，拉伸断裂主要与空气老化后的基体失效以及开水浸没后的表面失效有关。

参考文献

Tavakoli SM: Effects of ageing on tensile properties and structure of linear friction and hot plate welds in polyethersulphone. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

聚醚砜（材料组成：30%玻璃纤维增强）

30%玻璃纤维增强的聚醚砜振动焊接的测试表明，与热盘焊接或红外焊接相比，接头区域较窄。纤维不仅因为熔体流动而重排，还会以缝隙的方向排列。对于振动焊接来说，经30%玻璃纤维增强改性的聚醚砜的最大焊接因子是0.65。

参考文献

Potente H, Natrop J, Pedersen TK, Uebbing M: Comparison of three methods for welding glass-fibre reinforced PES. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

巴斯夫股份公司：Ultrason E（特征：透明，琥珀色）

加热待连接表面需要的振幅取决于机器的频率，例如，

100Hz：1.0～4.0mm（0.039～0.157in）。

240Hz：0.5～2.0mm（0.020～0.079in）。

焊接时间应该约为2～10s；特殊的压力是1～2MPa（140～290psi）。未经增强改性的Ultrason树脂的接头效率是0.4，含20%玻璃纤维增强的接头效率为0.2。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

38.1.5 旋转焊接

巴斯夫股份公司：Ultrason E（特征：透明，琥珀色）

旋转焊接适合于经过相应设计的Ultrason塑型。获得的接头效率类似于振动焊接。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

38.1.6 热气体焊接

巴斯夫股份公司：Ultrason E（特征：透明，琥珀色）

热气体焊接适合于连接大型的或复杂的部件。气体的温度必须在450～500℃（842～932℉）范围内，焊棒的直径要与模具的壁厚相符合。这种技术一般在手工焊接中采用，允许V形缝隙，其在未经增强改性的Ultrason嵌板中的接头效率可高达0.7。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

38.1.7 激光焊接

巴斯夫股份公司：Ultrason E

Ultrason E2010（传输零件）可以通过激光焊接连接到Ultrason E2010 sw 10018（吸收零件）。

参考文献

Transmission Laser-Welding of Thermoplastics, Technical Information (WIS 0003 e 01.2001), BASF Aktiengesellschaft, 2001.

38.1.8 红外焊接

聚醚砜（材料组成：30%玻璃纤维增强）

焊接玻璃纤维增强的材料体系遇到的困难是焊缝内纤维的重排。研究进行了三种焊接方法（热工具焊接、振动焊接和辐射加热焊接）的比较以确定含30%玻璃纤维的热塑性塑料的最佳焊接方法，其中辐射加热焊接能够获得最好效果。连接纤维增强热塑性塑料的辐射加热焊接的最大优势是非接触加热。纤维不会经过任何取向，直到连接形成。

对辐射加热焊接的30%玻璃纤维增强的聚醚砜的摄像检测显示，与振动焊接和加热焊接相比，没有明显的纤维重排，这在厚的熔体层得到验证。可以看出，纤维在焊接的中心依然保持原来的取向。另外，在焊接区域中没有气泡。对于辐射加热焊接来说，30%玻璃纤维增强的聚醚砜的最大接头效率是0.85。

参考文献

Potente H, Natrop J, Pedersen TK, Uebbing M: Comparison of three methods for welding glass-fibre reinforced PES. ANTEC 1994, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, San Francisco, May 1994.

巴斯夫股份公司：Ultrason E（特征：透明，琥珀色）

在加热接触焊接法中，需要持续去除工具上粘附的残余物，优先考虑红外焊接。待焊接部分和加热工具之间的间隙厚度应是0.2～0.6mm（0.008～0.024in）。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide（B 602 e/10.92）, BASF Aktiengesellschaft, 1992.

38.1.9　溶剂焊接

巴斯夫股份公司：Ultrason E（特征：透明，琥珀色）

Ultrason 也可以通过溶剂如甲基吡咯烷酮（NMP）、二甲基甲酰胺、二氯甲烷进行连接。必须考虑到这样一个事实，溶剂会引起承受工作应力的零件产生环境应力开裂的可能性增加。Ultrason 的粘度会增大3%～15%。在任何情况下，连接后必须有充足的时间干燥，以彻底移除溶剂。

连接的强度不仅与溶剂有关，还取决于连接的几何形状。榫槽连接可以得到很好的结果。如果搭接部分足够长，那么连接部分可以传递超过60%的装配强度。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

38.1.10　粘合剂粘接

巴斯夫股份公司：Ultrason E2010

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表38.2中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表38.2中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表 38.2 采用乐泰公司的粘合剂对 Ultrason E2010 PES 之间进行粘接的剪切强度

[单位：MPa (psi)]

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
非填充树脂 5rms	4.5 (650)	11.0 (1600)	1.0 (150)	6.6 (950)	1.7 (250)	21.0 (3050)
粗加工的 24rms	12.8 (1850)	11.0 (1600)	11.6 (1100)	8.6 (1250)	1.7 (250)	21.0 (3050)
润滑剂 9% Polymist F510	6.6 (950)	5.9 (850)	4.1 (600)	4.8 (700)	5.5 (800)	16.2 (2350)
脱模剂 0.5% Mold Wiz 55PV	4.5 (650)	3.5 (500)	1.0 (150)	6.6 (950)	1.7 (250)	26.2 (3800)
填充剂 17% 497 玻璃纤维增强	12.1 (1750)	11.0 (1600)	12.8 (1850)	13.1 (1900)	7.9 (1150)	21.0 (3050)
着色剂 0.5% 黄 55-21007	4.5 (650)	5.9 (850)	3.1 (450)	20.3 (2950)	3.8 (550)	21.0 (3050)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：乐泰 3105（一种光固化丙烯酸粘合剂）在聚醚砜上获得最高的粘接强度，而 Flashcure 4305 光固化粘合剂的粘接强度较低，基体失效。Prism 401、Super Bonder 414 瞬间粘合剂、乐泰 3030 粘合剂、Hysol E-214HP 环氧树脂类粘合剂、Hysol 3631 热熔胶和 Fixmaster 高性能环氧粘合剂都在粘合未填充的聚醚砜时具有显著的连接强度。

表面处理：表面粗糙化或者不会导致任何结果，或者在聚醚砜达到的粘合强度上有满意而显著的增长。将 Prism Primer 707 和 Prism 401 瞬间粘合剂结合使用，或者将 Prism 4011 医疗设备瞬间粘合剂与 Prism Primer 7701 结合使用，会引起聚醚砜连接性的显著降低。

其他性能：当暴露在未处理的氰基丙烯酸盐粘合剂下时，聚醚砜会对应力极度敏感而裂开，所以任何过量的粘合剂都必须立即从表面移除，在任何可能的情况下都必须使用氰基丙烯酸盐催化剂。聚醚砜与丙烯酸粘合剂是兼容的，但是在对粘合剂固化之前会被它们的活化剂破坏，任何过量的活化剂都必须立即从表面移除。聚醚砜与厌氧粘合剂不相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

巴斯夫股份公司：Ultrason E（特征：透明，琥珀色）

各种粘合剂系统都会在 Ultrason 制品与自身或其他材料之间形成不可断裂的粘接，例如环氧基树脂、聚氨酯、酚醛树脂以及硅树脂粘合剂等。选择该系统是要满足应用的要求，例如耐热、耐湿、耐化学性等。某些溶剂在 Ultrason 中引发环境应力开裂。因此，在选择合适的粘接系统时，先前的每项测试都是很重要的。粘接的表面应该先进行除油、粗糙化或者其他的处理以保证良好的粘接性。

粘接的强度不仅取决于粘合剂，还取决于连接的几何形状。榫槽连接可以得到很好的结果。如果搭接部分足够长，那么连接部分可以传递超过60%的装配强度。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

38.1.11 机械连接

Solvay Advanced 聚合物：Radel A

自攻螺纹螺钉：自攻螺纹螺钉适合于 Radel A 树脂。自攻螺纹螺钉为连接塑料提供了一个经济的方法，因为它们不需要成型内螺纹或者独立的攻螺纹操作。

卡扣：Radel 工程树脂的延展性及其强度决定了它们很适合卡扣装配。设计的应变不能超过表 38.3 中的数值。

表 38.3 Radel A 树脂使用卡扣连接时最大的许用应变

Radel 等级	最大许用应变
A-200A	6.0
AG-310	3.0
AG-320	1.5
AG-330	1.0

参考文献

Radel R, *Radel A*, *Acudel Design Guide*, Supplier design guide (R-50247), Solvay Advanced Polymers, 2004.

巴斯夫股份公司：Ultrason E（特征：透明，琥珀色）

铆接和钉珠：在成型过程中可以很容易形成铆钉柄，从而在 Ultrason 部件和其他材料（如片状金属）之间形成不可断裂的连接。在金属零件被推到柄部时，通过一种特殊的超声工具形成铆钉头。在钉珠时采用相似的原理：突出的 Ultrason 焊珠用超声方法塑化然后形成围绕，例如围住金属零件。

可拆卸连接：大多数适合拆卸的连接是螺钉、螺栓以及有某种限制的可拆卸连接件。对于承受重载以及可以经常拆卸的螺栓连接来说，最好将金属嵌件安置在 Ultrason 零件在成型过程中形成的凹槽中。这些嵌件被安装在凹槽中时依然是热的，使零件凹槽熔化形成连接，也有一种方法就是通过超声波使其熔化并固定。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

38.2 聚砜

38.2.1 概述

巴斯夫股份公司：Ultrason S（特征：透明，琥珀色）

Ultrason 可以通过有各种焊接方法形成不可破坏的连接。

粘合剂在 Ultrason 和其他材料之间形成有效牢固的连接。其他形成不可破坏的连接的锻造方法是铆接和焊接。

可拆卸连接是通过可拆卸连接件、螺钉以及螺栓形成的。形成螺纹连接可以在成型过程中，也可以固化后嵌入金属然后连接，例如，为了后面嵌入金属嵌件，可以在成型过程中利用超声波技术形成凹槽。

适合于热塑性塑料的传统连接技术同样适用于各种 Ultrason 产品，唯一的例外是高频焊接，其对于低功耗的热塑性塑料来说是不合适的。通常情况下，在焊接之前要进行干燥，防止焊接过程中水分的存在引起焊接区域在熔化阶段产生气泡。

焊接技术的选择取决于模具的几何形状和应力形式。事实上，成型内应力是不能完全避免的，特别是在使用 Ultrason 或其他材料制作厚壁产品时。表 38.4 举例说明了 Ultrason 聚砜与其他材料的焊接技术。

表 38.4 Ultrason 聚砜与其他材料的焊接技术

材　　料	适用的技术
织物	超声波焊接
（预处理的）金属箔	热工具焊接
其他塑料，例如聚（丁烯对苯二甲酸酯）、丙烯腈/苯乙烯/丙烯酸酯共聚物，以及丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物	超声波焊接

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide（B 602 e/10.92），BASF Aktiengesellschaft, 1992.

阿莫科性能产品：Udel（特征：透明，琥珀色）

从各种连接方法中选择适合聚砜的方法与很多因素有关。一旦确定使用其中的一项技术，那么就要反复检查连接部分以保证残余应力水平符合要求。

要优化焊接的聚砜零件的性能特别是抗冲击性能，需要注意的是在塑化、挤出、成型、连接过程中内应力要一直低于 8.3MPa（1200psi）。残余应力可以通过接触改变聚砜活性的一系列溶剂来估计。表 38.5 给出了大约相符合的残余应力值。经过以下过程进行聚砜的应力水平估计。用卡必醇接触体系（浸没或擦拭）1min，然后对体系进行测试：如果开裂，那么残余应力应该是 12.4MPa（1800psi）或者更多；如果没有开裂，那么残余应力少于 12.4MPa（1800psi）。按照相同的方式继续测试表中的溶剂，找出能在 1min 之内引发开裂的溶剂。应力的水平在引起开裂的应力与表中立即测得的应力之间。

表 38.5 接触时间为 1min 时聚砜中的残余应力

溶剂	大约相符合的残余应力/MPa (psi)
二甘醇-乙醚（卡必醇）溶剂	12.4 (1800)
丁基乙二醇-乙醚	9.7 (1400)
乙二醇-乙醚（溶纤剂）溶剂	8.3 (1200)
1，1，1-不均三氯乙烷	4.1 (600)
醋酸乙酯	<1.4 (<200)
乙二醇-乙醚醋酸	<1.4 (<200)

记住在焊接、成型、装配或使用过程中引发的应力以及一切可以累加的应力是非常重要的。因此，要增加已成型体系承受应力的能力，需要通过保持其他因素引起的应力始终最小来实现。

参考文献

Udel Polysulfone Design Engineering Handbook, Supplier design guide (F-47178), Amoco Performance Products, Inc., 1988.

38.2.2 热工具焊接

Solvay Advanced 聚合物：Udel（特征：透明，琥珀色）

要焊接的物体表面用温度在 371℃（700℉）的热金属板压着大约 10s 就可以立即连接在一起。因为聚砜含有少量的水分，因此要求在进行热焊接前在 121℃（250℉）下干燥 3～6h。合适的连接要求快速进行，片间要有合适的精度。金属进行热连接时温度为 177℃（350℉）时最为合适。

参考文献

Udel Polysulfone Design Guide, Supplier design guide (U-50244), Solvay Advanced Polymers, 2002.

巴斯夫股份公司：Ultrason S（特征：透明，琥珀色）

Ultrason 需要高的工具温度，因此传统的无接枝层的方法是不合适的。在热接触方法中，必须持续不断地除去粘附的残渣以保证工具的干净。

得益于高温的影响，存在一个明显的转变期，如果可能的话要低于 1s，这就要求将温度降到熔点以下以保护金属表面。以下参数可以得到好的结果：

热工具温度：380～550℃（716～1022℉）。

加热时间：10～90s。

特殊的接头压力：2～5MPa（290～725psi）。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

38.2.3 超声波焊接

巴斯夫股份公司：Ultrason S（特征：透明，琥珀色）

建议超声波焊接采用的横截面面积为 $200cm^2$（$31in^2$）或者更少，焊缝面积最大到 $10cm^2$（$1.6in^2$）。更大的区域需要两次或更多次的焊接处理，焊接可以同时进行，也可以一

次之后再进行一次。焊接时间要短暂（2s），允许快速完成循环。焊接的几何形状必须符合超声波焊接的要求。焊接参数取决于材料及模具的设计，以下参数可以获得特别好的结果：

频率：20 ~ 40kHz。

振幅：20 ~ 60μm。

焊接时间：0.1 ~ 2.0s。

特殊的焊接压力：1 ~ 5MPa（145 ~ 725psi）。

可获得的焊接效率，即焊缝的强度与材料强度的比率，在0.3 ~ 0.6范围内，实际值取决于材料及模具的设计。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

阿莫科性能产品：Udel（特征：透明，琥珀色）

超声波焊接为聚砜自身的粘接提供了一个快速、洁净、高效的方法。经过0.5s的焊接时间就可以得到焊缝，焊接周期比任何其他的方法都短。在0.3MPa（40psi）的气缸压力下采用标准圆筒状阶梯电极臂可以得到良好的效果。为了保持各部分之间的连接，可以持续焊接。

参考文献

Udel Polysulfone Design Engineering Handbook, Supplier design guide（F-47178），Amoco Performance Products, Inc.，1988.

巴斯夫股份公司：Ultrason S

Ultrason S制品可以通过超声波焊接技术焊接在一起，同时这种方法也应用在金属零件的穿孔中。

参考文献

Ultrason S Resins, Supplier technical report（81527（8106）），BASF，1988.

38.2.4 振动焊接

巴斯夫股份公司：Ultrason S（特征：透明，琥珀色）

待连接的加热表面需要的振幅取决于机器的频率，例如，

100Hz：1.0 ~ 4.0mm（0.039 ~ 0.157in）。

240Hz：0.5 ~ 2.0mm（0.020 ~ 0.079in）。

焊接时间应该约为2 ~ 10s；特殊的压力是1 ~ 2MPa（140 ~ 290psi）。未经增强改性的Ultrason树脂的接头效率是0.4，含20%玻璃纤维增强的接头效率为0.2。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

38.2.5 旋转焊接

巴斯夫股份公司：Ultrason S（特征：透明，琥珀色）

旋转焊接适合于经过相应设计的Ultrason塑型。获得的接头效率类似于振动焊接。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

38.2.6 热气体焊接

巴斯夫股份公司：Ultrason S（特征：透明，琥珀色）

热气体焊接适合于连接大型的或复杂的部件。气体的温度必须在450~500℃（842~932℉）范围内，焊条的直径要与制品的壁厚相符合。这项技术一般在手工焊接中应用，允许V形缝隙，其在未经增强改性的Ultrason嵌板中的焊接效率可高达0.7。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

阿莫科性能产品：Udel（特征：透明，琥珀色）

诺伍德（马萨诸塞州）的Kamweld科技有限公司已开发出了一种聚砜的热气体焊接工具，推荐给欲对聚砜板片材进行焊接的使用者，其兴趣是采用对接焊和角接焊。其有两个潜在的应用是化学罐衬里和热风管道。焊接过程包括同时加热聚砜焊条和聚砜薄板的边缘，当表面软化后立即将它们连接在一起。4.0mm（0.156in）的焊条的焊接速率是大约是20in/min（500mm/min）。

焊接聚砜的Kamweld Model 10-HS-B高速生产焊接工具以及Model KS-1C高速工具使用的是3.2mm（0.125in）或者4.0mm（0.156in）的焊条。Model KS-2C工具使用的是4.8mm（0.189in）的焊条。聚砜焊接可以用韦斯特莱克塑料Lenni，PA制得。最好在焊接之前对焊接用焊条进行干燥。

参考文献

Udel Polysulfone Design Engineering Handbook, Supplier design guide (F-47178), Amoco Performance Products, Inc., 1988.

38.2.7 红外焊接

巴斯夫股份公司：Ultrason S（特点：透明，琥珀色）

在加热焊接的方法中，红外焊接需要持续地去除焊接工具上粘附的残余物。焊接零件间的空隙时加热工具的厚度大约是0.2~0.6mm（0.008~0.024in）。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide (B 602 e/10.92), BASF Aktiengesellschaft, 1992.

38.2.8 感应焊接

阿莫科性能产品：Udel（特征：透明，琥珀色）

通过磁感应加热焊接带有磁性部分的夹层可以获得强的连接。由Emabond解决方案提供加工体系。

参考文献

Udel Polysulfone Design Engineering Handbook, Supplier design guide (F-47178), Amoco Performance Products, Inc., 1988.

38.2.9 溶剂焊接

Ultrason也可以通过溶剂如甲基吡咯烷酮（NMP）、二甲基甲酰胺、二氯甲烷进行连接。

必须考虑到这样一个事实，溶剂会引起承受工作应力的零件产生环境应力开裂的可能性增加。Ultrason 的粘度会增大3% ~15%。在任何情况下，连接后必须有充足的时间干燥，以彻底移除溶剂。

连接的强度不仅与溶剂有关，还取决于连接的几何形状。榫槽连接可以得到很好的结果。如果搭接部分足够长，那么连接部分可以传递超过60%的装配强度。

参考文献

Ultrason E, *Ultrason S Product Line*, *Properties*, *Processing*, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

阿莫科性能产品：Udel（特征：透明，琥珀色）

对聚砜的溶剂粘合采用的是5%的树脂亚甲基氯化物溶液。同样可用的是一种胶化的亚甲基氯化物粘合剂（特指 Zip Strip，由 Star Bronze 公司制造）。这个粘合剂可以在应用之后提供几分钟的开放时间。

最好在溶剂粘合时使用较少的溶剂，只需要能够润湿被焊接表面就可以。在边缘焊接时实现这个的最简单的办法就是用毛细管化学滴落器使溶剂沿着边缘形成一层薄膜。然后这两个片应该用夹具装配起来，并且在3.4MPa（500psi）下冷压5min。这时，连接处需要清洁并排除气泡。气泡的出现表明溶剂过多和/或压力不够，溢出表明压力太高或者溶剂过多。

使用溶剂将金属焊接到聚砜上需要先在金属上粘接一层0.076 ~0.127mm（3 ~5 mil）厚的聚砜膜。如果是铝，可以使用一组夹辊在371℃（700℉）下直接在金属表面粘接薄膜。如果是钢，必须要有底漆而且温度是316℃（600℉）。按照之前的描述，可以和聚砜融合。

经过残余溶剂蒸发，连接强度在几周之后将会改善。使用热熔或者溶剂融合技术适当准备的聚砜的连接强度超过了粘合剂连接。在连接区域有较小的环境应力就会引起破坏的情况下不推荐使用溶剂连接。使用相容剂使溶剂连接不同种塑料成为可能，与上述过程相同。

当配件是齐平的并且彼此之间亲密接触时，会获得很好的效果。这个方法要求配件制成方形，而且表面要打磨光滑。

参考文献

Udel Polysulfone Design Engineering Handbook, Supplier design guide (F-47178), Amoco Performance Products, Inc., 1988.

巴斯夫股份公司：Ultrason S

Ultrason 也可以通过溶剂如甲基吡咯烷酮（NMP）、二甲基甲酰胺、二氯甲烷进行连接。必须考虑到这样一个事实，溶剂会引起承受工作应力的零件产生环境应力开裂的可能性增加。Ultrason 的粘度会增大3% ~15%。在任何情况下，连接后必须有充足的时间干燥，以彻底移除溶剂。

参考文献

Ultrason S Resins, Supplier technical report (81527 (8106)), BASF, 1988.

38.2.10　粘合剂粘接

Solvay Advanced 聚合物：Udel

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。

虽然表38.6中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表38.6中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表38.6　采用乐泰公司的粘合剂对Udel P-1700聚砜与聚砜进行粘接的剪切强度

［单位：MPa（psi）］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
非填充树脂	4.5（650）	11.0（1600）	1.0（150）	4.8（700）	6.2（900）	21.0（3050）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

其他性能：当暴露在未处理的氰基丙烯酸盐粘合剂下时，聚醚砜会对应力极度敏感而裂开，所以任何过量的粘合剂都必须立即从表面移除，任何可能的情况下，都必须使用氰基丙烯酸盐催化剂。聚砜与丙烯酸粘合剂是兼容的，但是在对粘合剂固化之前会被它们的活化剂破坏，任何过量的活化剂都必须立即从表面移除。聚砜与厌氧粘合剂不相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含ODC的乐泰清洁剂和脱脂剂。

粘合剂性能：乐泰3105（一种光固化丙烯酸粘合剂）在聚醚砜上获得最高的粘接强度。Prism 401，表面敏感的氰基丙烯酸盐粘合剂的连接强度排名第二。Prism 401，与Prism Primer 707联合使用时的连接强度是最低的。

表面处理：将Prism Primer 707和Prism 401瞬干胶结合使用，或者将Prism 4011医疗设备瞬干胶与Prism Primer 7701结合使用，会引起聚砜连接性的显著降低。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

巴斯夫股份公司：Ultrason S（特征：透明，琥珀色）

各种粘合剂系统都会在Ultrason制品与自身或其他材料之间形成不可断裂的粘接，例如

环氧基树脂、聚氨酯、酚醛树脂以及硅树脂粘合剂等。选择该系统是要满足应用的要求，例如耐热、耐湿、耐化学性等。某些溶剂在 Ultrason 中引发环境应力开裂。因此，在选择合适的粘接系统时，先前的每项测试都是很重要的。粘接的表面应该先进行除油、粗糙化或者其他的处理以保证良好的粘接性。

粘接的强度不仅取决于粘合剂，还取决于连接的几何形状。榫槽连接可以得到很好的结果。如果搭接部分足够长，那么连接部分可以传递超过 60% 的装配强度。

参考文献

Ultrason E, Ultrason S Product Line, Properties, Processing, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

阿莫科性能产品：Udel（特征：透明，琥珀色）

许多粘合剂适合聚砜与自身或其他材料的粘接，其中一些只推荐在低温应用的情况下使用，其他的连接在适合持续使用聚砜的温度下仍然可以保持其完整性。

参考文献

Udel Polysulfone Design Engineering Handbook, Supplier design guide (F-47178), Amoco Performance Products, Inc., 1988.

38.2.11 机械连接

巴斯夫股份公司：Ultrason S（特征：透明，琥珀色）

铆接和钉珠：在成型过程中可以很容易形成铆钉柄，从而在 Ultrason 部件和其他材料之间形成不可断裂的连接，例如片状金属。在金属零件被推到柄部时，通过一种特殊的超声工具形成铆钉头。在钉珠时采用相似的原理：突出的 Ultrason 焊珠用超声方法塑化然后形成围绕，例如围住金属零件。

可拆卸连接：大多数适合拆卸的连接是螺钉、螺栓以及有某种限制的可拆卸连接件。对于承受重载以及可以经常拆卸的螺栓连接来说，最好将金属嵌件安置在 Ultrason 零件在成型过程中形成的凹槽中。这些嵌件被安装在凹槽中时依然是热的，使零件凹槽熔化形成连接，也有一种方法就是通过超声波使其熔化并固定。

参考文献

Ultrason E, Ultrason S Product Line, Properties, Processing, Supplier design guide, BASF Aktiengesellschaft.

阿莫科性能产品：聚亚苯基砜树脂（特征：透明，琥珀色）

压配装配：由于聚砜固有的尺寸稳定性及抗蠕变性，压配可以作为装配的一种先进技术。一般来说，与其他热塑性塑料的过盈力比要求的小而支持力却可以保持很高。推荐的以聚砜为中心的钢轴的直径过盈量已经确定（见图 38.1）。这些数据是在环境温度达到 93℃（200℉）的使用标准时得到的。在计算中使用了 13.8MPa（2000psi）的环向应力而且允许蠕变的存在。

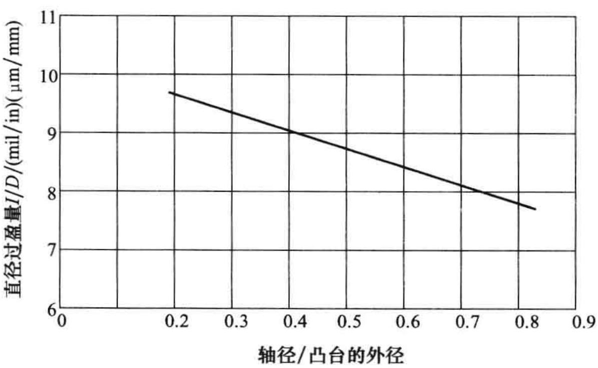


图 38.1 聚砜毂与钢轴压配连接的直径过盈量推荐值。

攻螺纹或自攻螺纹螺钉：攻螺纹的

标准钢与聚砜相连性好，不需要润滑油和切削油，尽管少量的润滑油可以减少攻螺纹的磨损。在 180~380mm/s（35~75ft/min）的速度下两个或三个槽丝锥会有更好的效果。

自攻螺纹螺钉：比如 BF 型，已经在聚砜中测试过，得到了令人满意的结果。

模内螺纹：使用具有圆形根部的前三个级别的统一螺纹标准。螺纹不应延伸到螺纹区域的边缘。应提供一个尺寸至少是 0.79mm（0.031in）的洁净的区域（见图 38.2）。不推荐管螺纹，因为会产生剧烈的楔入行为。

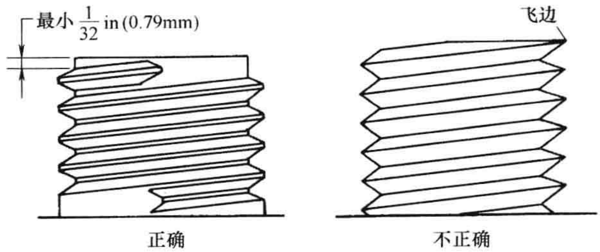


图 38.2 聚砜的模内成型螺纹设计。

螺纹机械嵌件：螺纹金属嵌件为连接模塑聚砜制件和其他组件提供了一个简便的方法。一般来说，在塑化后嵌入安装好的嵌件优于模内嵌件，它们通常费用较少，可以采用不同的树脂冷却方法得到高的应力。各种各样的嵌件可以用于聚砜（见表 38.7）。按照标准，嵌件周围的壁厚应该是嵌件主径的一半。也可以使用超声波方法安装金属嵌件，这会取得极好的抗拉能力和低的残余应力。如果希望得到模内嵌件，在塑化之前预热嵌件温度越高越好，这会减少聚砜凸台的内应力。

表 38.7 聚砜的后成型螺纹嵌件

商标名	类型	内螺纹	制造商的零件代号	引导孔和钻孔尺寸	埋头直孔
"Tap-Lok"	切制螺纹	6~32	C-系列，粗制外螺纹	(#10) 0.194in (4.91mm)	0.219in×0.063in (5.56mm×1.59mm) 深
		10~32	C-系列，粗制外螺纹	(H) 0.226in (5.74mm)	0.297in×0.063in (7.54mm×1.59mm) 深
"Banc-Lok"	膨胀螺纹	6~32	N-系列	0.187in (4.75mm)	—
		10~32	N-系列	(D) 0.246in (6.25mm)	—
"Dodge"	膨胀螺纹	6~32	—	0.187in (4.75mm)	—
		10~32	—	(D) 0.246in (6.25mm)	—

凸台：如果可能的话，在两表面连接处（如角）设置凸台。凸台外径应是孔直径的两倍，凸台高度不能超过凸台外径的两倍（见图 38.3）。

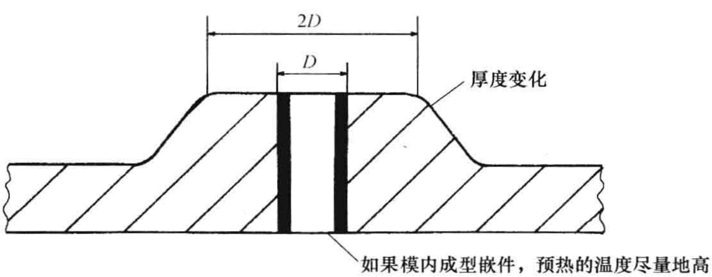


图 38.3 聚砜的凸台设计。

参考文献

Udel Polysulfone Design Engineering Handbook, Supplier design guide (F-47178), Amoco Performance Products, Inc., 1988.

38.3 聚苯砜

38.3.1 机械连接

阿莫科性能产品：Radel R

自攻螺纹螺钉：自攻螺纹螺钉适用于聚亚苯基砜。自攻螺纹螺钉为塑料的连接提供了一个经济的办法，因为它们不需要模塑内螺纹或者独立攻螺纹操作。

卡扣：Radel 工程树脂的延展性及其强度使它适合于卡扣装配。最大应变不应该超过许用应变，对于等级 5000、5100 和 5200 来说，其应变是 6.7%。

参考文献

Radel R, *Radel A*, *Acudel Design Guide*, Supplier design guide (R-50247), Solvay Advanced Polymers, 2004.

第39章　乙　烯　基

39.1　聚氯乙烯

39.1.1　概述

Georgia Gulf：聚氯乙烯

由 Georgia Gulf 塑造制成的刚性乙烯基化合物可以用各种方法连接在一起。无论是机械方法还是化学方法，在设计阶段应选用一个合适的简化经济型装配方法。当考虑到刚性乙烯基聚合物的有效连接选择时，设计者必须选择在安装时是否使用紧固件。（见表 39.1）

表 39.1　连接硬质 PVC 可用的选择

带紧固件	不带紧固件
螺纹切削螺钉	溶剂粘接
压制成型螺纹螺钉	粘合剂粘接
夹子	卡扣连接
机加工螺钉	超声波焊接，旋转焊接，振动焊接，热铆焊接

超声波、旋转和振动焊接均适于刚性乙烯基。热铆锁也是一种可以接受的连接部件的方法。

参考文献

Georgia Gulf Vinyl, Supplier technical report, Georgia Gulf, 1991.

39.1.2　热工具焊接

吉纶：Geon（形状：注射平板）

聚氯乙烯使用热工具焊接时焊接效果最好，可取得的最大的焊接强度取决于材料等级。聚氯乙烯树脂 87416 和聚氯乙烯树脂 85885 的预期焊接强度大约是 85% 和 97%，相应的断裂应变是 2.5% 和 3.3%。

参考文献

Stokes VK：Hot-tool and vibration welding of poly（vinyl chloride）. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 6（3）, p. 158, September 2000.

Huls 股份公司：Vestolit BAU（应用：窗户；化学类型：接枝聚合物；形状：型材挤出）

窗框等斜切型材的焊接由特殊设计的热焊接仪器实施。最佳焊接的基本要求是型材高的尺寸精度以及没有碎屑或破裂的斜切面，所用的 PVC 必须满足良好的焊接性的要求。从生料的角度看，以下提到的因素将会影响材料的焊接性：

- 聚氯乙烯的生产方法。
- 聚氯乙烯的改性（改性剂）。
- 聚氯乙烯的制备（润滑剂和白垩的含量）。

要小心选择用于氯乙烯树脂 BAU 中的添加剂，不能对焊接性有害。用焊接的样品进行 DIN 53455 拉伸性能的测试和未焊接的样品对比而得到焊接性。焊接因子（焊接后的拉伸强度/焊接前的拉伸强度）由断裂时的拉伸强度得到。对于氯乙烯树脂 BAU 来说，焊接因子的目标通常是 1.0。

焊接“溶剂”的移除通常由自动机器机械移除。与未经改性的刚性聚氯乙烯相比，由氯乙烯树脂 BAU 制造的型材具有较高的生产率从而保证这个部分的操作时间最短。在生产发展的早期阶段，发现在高的切割速率下，抗冲击强度为 250kJ/m^2 或者更少的型材会出现“颤痕”，在溶剂布置过程中，型材框架外侧角的边缘会削去。

参考文献

Vestolit BAU for World-wide Windows, Supplier technical report (1083e/May 1987/bu), Huls AG, 1987.

39.1.3 超声波焊接

聚氯乙烯（特征：5.8mm（0.228in）厚）

超声波焊接聚氯乙烯片或纤维是很难预测的，因为在其制造过程中使用的活性剂范围很广。增塑剂经常被添加到刚性聚氯乙烯中以赋予其弹性。当增塑剂含量增大时，聚氯乙烯超声波焊接的能力减弱。

参考文献

Ultrasonic Sealing and Slitting of Synthetic Fabrics, Supplier technical report, Sonic & Materials, Inc.

39.1.4 振动焊接

吉纶：Geon（形状：注射平板）

聚氯乙烯用振动焊接时效果最好，可获得的最大的焊接强度取决于材料等级。聚氯乙烯树脂 87416 和聚氯乙烯树脂 85885 的预期焊接强度大约是 85% 和 97%，相应的断裂应变是 2.5% 和 3.3%。

参考文献

Stokes VK: Hot-tool and vibration welding of poly (vinyl chloride). *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 6 (3), p. 158, September 2000.

39.1.5 射频焊接

聚氯乙烯（特征：透明的）

用调节的射频焊接刚性聚氯乙烯时会遇到困难，但是可以得到美观的焊缝。刚性聚氯乙烯不能和自身进行牢固焊接。根据焊接参数，在形成好的连接前样品可以是不熔的，也可以是完全熔融的。然而，刚性/纯净的弹性聚氯乙烯、刚性/填充不透射线填充的弹性聚氯乙烯以及刚性/聚氨酯化合物的组合可以获得好的连接（见表 39.2）。

表 39.2 硬质 PVC 与本身及其他材料的高频焊接强度①

材料	连接材料	高频焊接时不切穿试样	高频焊接时切穿试样		暴露在 5~5.5Mrad 伽马射线后焊缝强度的变化
			没老化	60℃（140℉）下老化 48h	
透明硬质 PVC 80D	TPE 合金	不粘	不粘		

（续）

材　料	连接材料	高频焊接时不切穿试样	高频焊接时切穿试样		暴露在5~5.5Mrad伽马射线后焊缝强度的变化
			没老化	60℃（140℉）下老化48h	
透明硬质PVC 80D	苯乙烯类TPE	不粘	不粘		
透明硬质PVC 80D	芳香族聚酯型聚氨酯	一般（6%~15%潜能）	非常好（31%~50%潜能）	超好（>50%潜能）	
透明硬质PVC 80D	含不透射线填充剂的PVC 75A	一般（6%~15%潜能）	超好（>50%潜能）	非常好（31%~50%潜能）	
透明硬质PVC 80D	透明硬质PVC 80D	差（<5%潜能）	一般（6%~15%潜能）	一般（6%~15%潜能）	减少5%的潜能
透明硬质PVC 80D	透明柔性PVC 80A	非常好（31%~50%潜能）	好（16%~30%潜能）	超好（>50%潜能）	
透明硬质PVC 80D	透明柔性PVC 65A	一般（6%~15%潜能）	非常好（31%~50%潜能）	非常好（31%~50%潜能）	

① 每个焊缝单位横截面上的断裂强度由计算得到，然后与较弱材料的拉伸强度相除。这个数乘以100表示焊缝强度最大可能值（也称“潜能”）的百分比。

对于弹性聚氯乙烯来说，热老化性没有显著的影响，除了刚性聚氯乙烯/聚氨酯化合物外，它们在老化后焊接强度明显增加。对于刚性聚氯乙烯来说，经穿刺的样品的焊接优于未经穿刺的样品，这可能是因为经穿刺的样品有更长的接触时间（给样品提供压力和RF频率的时间）。

参考文献

Leighton J, Brantley T, Szabo E: RF welding of PVC and other thermoplastic compounds. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

39.1.6 热气体焊接

聚氯乙烯-U（形状：薄片）

PVC-U推荐的焊接条件如下：

温度：320~370℃（608~698℉）。

压力（直径为4mm（7in）的焊棒）：15~25N（3.4~5.6lbf）。

气体流速：40~60L/min。

参考文献

Gibbesch B: Thermoplastic inliner for dual laminate constructions. Welding Beyond Metal: AWS/DVS conference on Plastics Welding, New Orleans, March 2002.

39.1.7 溶剂焊接

聚氯乙烯（形状：管材）

对uPVC管道中的溶剂结合剂接头进行了研究，以确定管道和栓之间的力学性能和连接特征。栓和插口通过P型Plaskem溶剂粘合（Plaskem粘合剂和密封剂生产厂家生产）连接起来。

溶剂粘接接头强度取决于接头固化所需要的时间。接头固化 60 天可以获得 9MPa（1305psi）的剪切强度。接触面很明显，没有观察到聚合物和溶剂相互作用的单元部分。

参考文献

Tjandraatmadja GF, Burn LS: A study of the solvent cement bond for PVC and ABS pipe joints. Plastics Pipes XI, Conference proceedings, Munich, Germany, September 2001.

Georgia Gulf：聚氯乙烯

溶剂焊接对于连接几种刚性乙烯基部件或可溶于相同溶剂的其他热塑性塑料来说是一种有效的方法。这个过程包括用少量的溶剂处理待焊表面来腐蚀接触面。推荐使用固定装置来保持配合零件在一起直到溶剂蒸发，两个零件即连接在一起。接触表面要有很好的配合，这样压力可以分布在整个待焊表面上。

5% ~25% 的二氯甲烷和四氢呋喃的溶液是聚氯乙烯树脂非常好的溶剂焊接体系。当使用溶剂时，应该遵循合适的工作区域的通风设备和遵守设备安全。结合剂的量应该保持最少，并且只施加在干净的表面上，以保证高质量的、美观的、合适的焊接。

应采用以下溶剂焊接过程：

1）清洁要焊接的部件。

2）只在一边涂抹溶剂。

3）把两部件固定在一起（至少 60 ~90s）。

4）如果部件将要在室温环境下使用，在室温下干燥 24h。

通过溶剂配合在一起的零件的性能可以通过适当地设计配合表面的接头而得到提高。表面粘接的强度和部件表面配对区域的大小有直接关系。在压缩状态下的焊接接头表现最好，因此应尽可能在设计焊接时采用压缩工艺。在拉伸状态下，搭接接头可靠性更高，因为拉伸增加了搭接接头外形处的接触面积。

参考文献

Georgia Gulf Vinyl, Supplier technical report, Georgia Gulf, 1991.

Dexter 复合材料：Alpha 2212（特征：透明的）

进行试验以评估增塑的聚氯乙烯与刚性透明的热塑性塑料的粘接性/兼容性。正如预测的一样，聚氯乙烯与自身的粘接相当好，除丙酮外的所有溶剂都可用于装配。1，2-二氯甲烷和线性二氯甲烷的粘接强度不高，但是其他的氯化物都可以得到满意的粘接。任何溶剂都不会产生初始裂纹。刚性聚氯乙烯基体的案例表明在环乙酮溶剂中产生的效果和在任何混合物中所得的效果一样好。

参考文献

Haskell A: Bondability/compatibility of plasticized PVC to rigid, transparent thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

39.1.8 粘合剂粘接

Occidental：Oxychem 160

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接

的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表39.3中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表39.3中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表39.3 采用乐泰公司的粘合剂对Oxychem 160 PVC与PVC进行粘接的剪切强度

［单位：MPa（psi）］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
无填充树脂 3rms	>11.0① （>1600①）	>25.2① （>3650①）	>19.7① （>2850①）	>20.0① （>2900①）	>18.3① （>2650①）	>17.6① （>2550①）
粗加工的 27rms	>11.0① （>1600①）	>12.8① （>1850①）	>9.7① （>1400①）	>20.0① （>2900①）	>10.7① （>1550①）	>17.6① （>2550①）
UV稳定剂 1% UV-531	>11.0① （>1600①）	>19.3① （>2800①）	>9.7① （>1400①）	>20.0① （>2900①）	>12.8① （>1850①）	>17.6① （>2550①）
冲击改性剂 7%乳胶粘合剂BTA753	>7.6① （>1100①）	>29.7① （>4300①）	>25.2① （>3650①）	>20.0① （>2900①）	7.2 （1050）	>20.7① （>3000①）
阻燃剂 0.3%氧化锑	>11.0① （>1600①）	>21.0① （>3050①）	>19.7① （>2850①）	>20.0① （>2900①）	>14.1① （>2050①）	>17.6① （>2550①）
抑烟剂 0.3% Ammoniumocta molybdate	8.6 （1250）	>25.2① （>3650①）	>19.7① （>2850①）	>20.0① （>2900①）	>12.4① （>1800①）	>17.6① （>2550①）
润滑剂 1%硬脂酸钙24-46	>11.0① （>1600①）	>25.2① （>3650①）	>19.7① （>2850①）	>20.0① （>2900①）	>13.1① （>1900①）	>17.6① （>2550①）
填充剂 9% OmyaCarb F	>11.0① （>1600①）	>29.3① （>4250①）	>12.1① （>1750①）	>30.3① （>4400①）	>18.3① （>2650①）	>21.7① （>3150①）
增塑剂 5% Drapex 6.8	>11.0① （>1600①）	>15.5① （>2250①）	>10.7① （>1550①）	>20.0① （>2900①）	>10.3① （>1500①）	>17.6① （>2550①）
着色剂 0.5% FD&C蓝 #1	>11.0① （>1600①）	>25.2① （>3650①）	>19.7① （>2850①）	>20.0① （>2900①）	>7.2① （>1050①）	>17.6① （>2550①）
抗静电剂 1.5% Markstat AL-48	>11.0① （>1600①）	>25.2① （>3650①）	>8.3① （>1200①）	>20.0① （>2900①）	>6.2① （>900①）	>17.6① （>2550①）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：Black Max 380、Prism 401、Super Bonder 414 瞬间粘合剂、Depend 330（一种由双组分无混合的粘合剂）、Flashcure 4305 和 3105 光固胶建立的连接强度在许多性能测试中高于刚性聚氯乙烯基质。Speedbonder H3000 结构粘合剂，乐泰 3030 粘合剂，Hysol E-90FL、E-30CL 环氧粘合剂，Hysol 3631 热熔粘合剂以及 fixmaster 快速橡胶修复胶可以取得更加完美的粘接强度。

表面处理：表面粗糙化或者 Prism Primer 707 或 7701 的使用，或者不会导致令人满意的显著效果，或者使刚性聚氯乙烯的粘接强度比未经处理的聚氯乙烯稳定的显著降低。

其他性能：当暴露在未处理的氰基丙烯酸盐粘合剂下时，聚氯乙烯会对应力极度敏感而裂开，所以任何过量的粘合剂都必须立即从表面移除。聚氯乙烯与丙烯酸粘合剂是兼容的，但是在对粘合剂固化之前会被它们的活化剂破坏，任何过量的活化剂都必须立即从表面移除。聚醚砜与厌氧粘合剂不相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

聚氯乙烯

聚氯乙烯可以使用氰基丙烯酸盐粘合剂粘接。

参考文献

The Engineers Guide to Adhesives, Supplier design guide, Permabond Engineering Adhesives.

Georgia Gulf：聚氯乙烯

刚性乙烯基部件可以连接到其他材料（如金属、玻璃、其他塑料和木头）上。有一系列的粘合剂对刚性乙烯基部件有很好的粘接效果，例如环氧粘合剂、氨基甲酸乙酯粘合剂、接触胶及双组分粘合剂体系。

应采用以下溶剂焊接过程：

1）清洁要焊接的部件。

2）只在一边涂抹溶剂。

3）把两部件固定在一起（至少 60 ~ 90s）。

4）如果部件将要在室温环境下使用，在室温下干燥 24h。

通过溶剂配合在一起的零件的性能可以通过适当地设计配合表面的接头而得到提高。表面粘接的强度和部件表面配对区域的大小有直接关系。

在压缩状态下的焊接接头表现最好，因此应尽可能在设计焊接时采用压缩工艺。在拉伸状态下，搭接接头可靠性更高，因为拉伸增加了搭接接头外形处的接触面积。

参考文献

Georgia Gulf Vinyl, Supplier technical report, Georgia Gulf, 1991.

39.1.9 机械连接

Georgia Gulf：聚氯乙烯

自攻螺纹螺钉是一种常用的经济的装配刚性乙烯基部件的方法。选择两种基本的螺纹紧固件，分别是螺纹自成型螺钉和线切割螺钉。螺纹自成型螺钉不推荐用于刚性的乙烯基部件，因为它会在部件内部产生很高的应力，这种螺钉在安装到接纳孔时取代材料并在凸台上产生高的应力水平。在需要高退出扭矩的地方，可能必须使用螺纹自成型螺钉。

如 Hi-Lo、F 型、25 型和 23 型是优先选择的线切割螺钉。实际上，这些螺钉在安装时会把材料移除，这就避免了高应力的产生。如果部件需要经常安装和卸下，不要使用 23 型和 25 型。螺纹的再切割不能提供所需要的装配强度，因此，应该使用有黄铜嵌入的标准机制螺钉。

一些机械连接的基本设计考虑如下：

- 凸台的外径应该等于型芯孔内径的 2.25 倍。
- 孔（凸台）的直径应该等于螺纹的定位直径。
- 螺纹接触最小应该是螺纹直径的两倍。螺纹接触轻微的增加都会引起拉出强度的显著增加。
- 避免重复使用同一个凸台。
- 应使用最小的扭矩以使应力水平保持在刚性乙烯基可接受的范围内。

参考文献

Georgia Gulf Vinyl, Supplier technical report, Georgia Gulf, 1991.

39.2 氯化聚氯乙烯

39.2.1 概述

Noveon：Corzan（形状：管材）

Corzan 管可以用多种连接技术进行安装，溶剂焊接、镶边和螺纹是最常用的方法，使用热气体焊接的底焊也可以。适合于 Corzan 管材和配件的不常用的焊接方法有对头焊接。

参考文献

Corzan Industrial Systems Data, Supplier installation guide, Noveon Inc.

39.2.2 热气体焊接

聚氯乙烯-C（形状：薄板）

推荐聚氯乙烯-C 使用以下焊接条件：

温度：350 ~ 370℃（662 ~ 398℉）。

压力（直径为 4mm（7in）的焊棒）：20 ~ 25N（4.5 ~ 5.6lbf）。

气体流速：40 ~ 60L/min。

参考文献

Gibbesch B：Thermoplastic inliner for dual laminate constructions. Welding Beyond Metal：AWS/DVS confer-

ence on Plastics Welding, New Orleans, March 2002.

Noveon：Corzan（形状：薄板）

手工供给焊棒的热气体焊接的温度接近288～316℃（550～600℉），只有Corzan CPVC的焊棒可以用来焊接Corzan CPVC接头。

参考文献

Corzan Industrial Systems Data, Supplier installation guide, Noveon Inc.

39.2.3 溶剂焊接

Noveon：Corzan（形状：管材）

当溶剂焊接Corzan管或配件时，使用符合ASTM F565溶剂的原始物和一种符合ASTM F493的cPVC溶剂。

在接头使用原始物和溶剂粘合剂进行装配后，一段时间内不要移动，以保证新生出的接头有合适的焊接条件。影响这些时间的因素是气候条件（相对湿度），在潮湿的环境中，需要多于150%的安装时间。直径为2.5～6in的Corzan管的推荐初始设置时间见表39.4。

表39.4 直径为2.5～6in的Corzan管的推荐初始设置时间

在设置期间的环境温度	16～38℃（60～100℉）	4～16℃（40～60℉）	−18～4℃（0～40℉）
设置时间	30min	2h	12h

在压力试验中有效固化的接头不能显示它所有的接头强度。溶剂粘合剂的固化时间是管材尺寸、温度和相对湿度的函数。气候越干，尺寸越小，温度越高则固化时间越短。湿度可以减缓固化时间并降低接头强度。表39.5给出了在焊接之后压力试验开始之前的最后一个接头的最短固化时间。热水的存在使得压力试验要求的固化时间延长。

表39.5 在0.69MPa（100psi）压力试验前63～152mm（2.5～6in）直径管材使用底漆和溶剂粘合剂的最短固化时间

在设置期间的环境温度	16～38℃（60～100℉）	4～16℃（40～60℉）	−18～4℃（0～40℉）
固化时间	1.5h	4h	72h

参考文献

Corzan Industrial Systems Data, Supplier installation guide, Noveon Inc.

39.3 聚偏二氯乙烯

39.3.1 超声波焊接

陶氏化学：Saranex（形状：薄膜）

Saranex薄膜可以采用和聚乙烯薄膜相似的技术进行超声波密封。超声波焊接推荐用于长时间的连续密封，并可在36m/min（120ft/min）的速度下得到洁净牢固的密封。

参考文献

Sealing Saranex Films, Supplier technical report (500-01247-0202X SMG), Dow Chemical Co., 2002.

39.3.2 热气体焊接

陶氏化学：Saranex（形状：薄膜）

推荐在高速机上对 Saranex 薄膜的连续密封采用热气体焊接。当速率高于 30m/min（100ft/min）时，可以获得极强的密封效果。

参考文献

Sealing Saranex Films, Supplier technical report (500-01247-0202X SMG), Dow Chemical Co., 2002.

39.3.3 热密封

陶氏化学：Saranex（形状：薄膜）

用于聚乙烯热密封的仪器对密封 Saranex 薄膜自身也是有效的。这些密封的强度和薄膜本身的强度是相同的。

Saranex 薄膜的脉冲密封可以经济的完成的条件如下：

热保压时间：0.25 ~ 0.50s。

压力：0.069 ~ 0.276MPa（10 ~ 40psi）。

冷却时间：0 ~ 0.25s。

在密封故障中过多的热量和/或过热会导致 Saranex 薄膜的降解。热降解产物对工人可能有毒（在高浓度或者长时间暴露的条件下）。

参考文献

Sealing Saranex Films, Supplier technical report (500-01247-0202X SMG), Dow Chemical Co., 2002.

第40章 塑料合金

40.1 ABS/PVC合金

40.1.1 溶剂焊接

A. Schulman：Polyman

当使用粘合剂和溶剂焊接技术时，四氢呋喃、甲基乙基酮（MEK）、环已酮、全氯乙烯等溶剂体系可以用于乙烯-ABS合金，它的化学性质类似于大多数的Polyman合金。

参考文献

Polyman, Supplier design guide, A. Schulman Inc.

40.1.2 机械连接

A. Schulman：Polyman

聚合物合金的模塑工差小，可以在很宽的温度、环境条件和时间范围内保持较好的模塑性能。有许多连接和装配技术已经得到成功应用。

对于机械装配来说，Polyman合金的特性特别适合于金属嵌件的诱导热嵌接或者道奇膨胀嵌件的使用。经常在汽车插接器中使用的手指接触卡扣安装也是一种Polyman合金零件装配的完美设计。模内嵌件是最牢固的连接技术，包括更长的循环时间，并且部件负载位置需要完整的连接。当使用自攻螺纹螺钉接头时，螺钉应该是通常用于ABS塑料的类型，具有比那些为聚碳酸酯塑料设计的螺钉更深的螺纹。超声波插接是另一种实用的经常用于Polyman合金的焊接技术。

参考文献

Polyman, Supplier design guide, A. Schulman Inc.

40.2 丙烯酸/聚氯乙烯合金

40.2.1 热工具焊接

Kleerdex：凯德板（形状：薄板）

凯德板可以通过热刀片焊接将它与自身或者与浇注的或挤出的树脂玻璃焊接在一起。用装有热电偶和温度指示装置的镍铬铁合金加热刀片焊接方法可以得到好的接头强度。刀片温度应该至少是327℃（620℉），保压时间是3~10s。

参考文献

Physical Properties Kydex 100 Acrylic PVC Alloy Sheet, Supplier technical report（KC-89-03）, Kleerdex Company, 1989.

40.2.2 超声波焊接

Kleerdex：凯德板（形状：薄板）

超声波定位焊对于连接各种厚度的凯德板来说是一种实用的装配方法。焊接适当的接头没有任何瑕疵，采用的方法是将焊机尖端，（如人们所知道的焊头）施加在后表面，会与前表面或完工面产生牢固的接头。

作为确定特殊应用最好条件的指导，表40.1给出了可能用到的结果。

表40.1 Kydex片材的超声波焊接参数

Kydex片材厚度	焊接时间	压 力
3.18mm（0.125in）	2.0s	551kPa（80psi）
2.00mm（0.080in）	0.7s	345kPa（50psi）

参考文献

Ultrasonic Welding KYDEX Thermoplastic Sheet, Supplier technical brief (TB-112), Kleerdex Company, 2007.

40.2.3 热气体焊接

Kleerdex：凯德板（形状：薄板）

可以通过热气体焊接将凯德板与自身或者其他材料焊接在一起。为了得到最好的结果，板的厚度应该在2.00~3.18mm（0.08~0.125in）的范围内。在焊接时，在焊棒上施加一大约为13N（3lbf）的持续压力。对于手工焊接来说，需要保持150~200mm/min（6~8in/min）的焊接速度；对于高速焊接来说，焊接速度达到1000mm/min（40in/min）也是可以的。

参考文献

Hot Gas Welding KYDEX Thermoplastic Sheet, Supplier technical brief (TB-113), Kleerdex Company, 2007.

Kleerdex：凯德板（形状：薄板）

热气体焊接凯德板可以得到高的焊接强度。加热凯德板或者通过手拿焊枪喂料的普通PVC棒，然后将软化物质焊珠置于两个凯德板之间。连接的凯德板的边缘应是斜面以安置焊接过程中的焊珠。热气体焊接技术可以获得一贯的高连接强度。

参考文献

Physical Properties Kydex 100 Acrylic PVC Alloy Sheet, Supplier technical report (KC-89-03), Kleerdex Company, 1989.

40.2.4 溶剂焊接

Kleerdex：凯德板（形状：薄板）

由于它完美的抗化学性，凯德热塑性塑料板比其他塑料更难以使用溶剂连接。

将10%凯德板刨花或锯屑溶解于50∶50的四氢呋喃（THF）和甲基乙基酮（MEK）混合溶液中得到的粘性溶剂糊的接头效果最好。在加入适量的MEK之前，先将刨花溶解在四氢呋喃中。

不加入凯德板刨花，50∶50比例的四氢呋喃和甲基乙基酮混合溶液可以形成比较高活

性的毛细溶剂。100% 的 THF 有很好的作用，但是由于蒸发很快所以连接效果很差，加入 MEK 可以降低蒸发速率，从而提供更长的连接时间。

参考文献

Bonding Kydex Sheet to Kydex Sheet, Supplier technical brief (TB-103A), Kleerdex Company, 2007.

40.2.5 粘合剂粘接

Kleerdex：凯德板（形状：薄板）

氰基丙烯酸盐粘合剂，如乐泰 Super Bonder 400 系列瞬间粘合剂，可以使凯德板与自身和其他材料形成很强的连接强度。一般来说，这些都是纯净的粘合剂，它们适合于小面积的要求快速固化的地方的粘接。

IPS 是一种很好的凯德板的基础粘合剂。以下 IPS 粘合剂均可以：#4052，#4007 和#1007。这些粘合剂粘接凯德板和 PVC 以及 ABS 的效果也很好。

丙烯酸基体粘合剂，如 Devcon 塑料粘合剂或者塑料粘合剂Ⅱ可以与凯德板形成很强的连接，在 15min 内进行连接可以形成很强的连接强度。粘合剂是白色的。有一种“弹性粘合剂”，在 30min 之内连接形成弹性的连接。弹性粘合剂是黄色的，但是连接强度不如塑料粘合剂或者塑料粘合剂Ⅱ。有一种复合粘合剂，可以将一种组分和另一种组分很好地连接在一起，如将凯德板和其他塑料或者金属粘接在一起。复合粘合剂是蓝色的或绿色的，因为其开放时间很短，使用粘合剂后立即将物品接触粘合。

末端粘合剂是粘合剂工程与供应分公司的一个分支，提供了黑白“Extreme 310”。

许多硬质存储器可以存储 PVC 管粘合剂，这种类型的粘合剂粘合凯德板的两个光滑面时效果很好。但是，这种粘合剂不适合于结构材料的粘接，只适合于装饰品粘接。

参考文献

Bonding Kydex Sheet to Kydex Sheet, Supplier technical brief (TB-103A), Kleerdex Company, 2007.

40.2.6 机械连接

Kleerdex：凯德板（形状：薄板）

在使用刚性紧固件的时候，必须考虑在凯德板和其他将要连接的材料之间的热膨胀系数的不同。考虑到这些差别，需要在凯德板上钻一个直径超过 1.60mm（0.063in）的孔。如果对热膨胀差别考虑不周，温度变化时会引起褶皱。

凯德板的机械连接适合在高应力处使用，尼龙和橡胶垫圈的使用可以防止连接头从凯德板中退出。铆接凯德板时要注意不能拉伸。

参考文献

Mechanically Fastening Kydex Thermoplastic Sheet, Supplier technical brief (TB-106), Kleerdex Company, 2007.

Kleerdex：凯德板（形状：薄板）

凯德板可以使用钉子、螺栓、铆钉和螺钉进行连接、装配或者硬化。厚度较薄时可以使用装订针进行连接。

参考文献

Physical Properties Kydex 100 Acrylic PVC Alloy Sheet, Supplier technical report (KC-89-03), Kleerdex Company, 1989.

40.3 PC/ABS 合金

40.3.1 概述

拜耳：Bayblend

Bayblend FR 树脂的模塑部件可以用一系列连接技术和 Bayblend 的其他模塑部件连接，或者和其他塑料部件或金属部件连接。Bayblend FR 树脂的弹性允许使用卡扣安装，这是安装两个或更多的部件的快速简单且经济的办法。粘接和焊接可以用于部件的永久性连接。螺栓、螺钉和超声插接可以用于可拆卸装配。Bayblend FR PC/ABS 的模塑部件的连接方法见表 40.2。

表 40.2 Bayblend FR PC/ABS 的模塑部件的连接方法

铰 链	粘合剂粘接
自攻螺纹螺纹	卡扣
机制螺纹	超声波焊接
模内成型螺纹	超声波嵌件
热嵌件	超声波和热铆接
加热焊接	超声波定位焊
电磁焊接	摩擦焊接
旋转焊接	溶剂焊接

参考文献

Bayblend FR Resins for Business Machines and Electronics, Supplier marketing literature (55-D808 (5) J 313-10/88), Mobay Corporation, 1988.

40.3.2 热工具焊接

拜耳：Bayblend，Triax

推荐的 Bayblend PC/ABS 的热板焊接参数如下：

热板温度：250～410℃（482～770℉）。

连接压力：0.3～0.9N/mm^2（40～130psi）。

推荐的 Triax PC/ABS 的热板焊接系数如下：

热板温度：250～410℃（482～770℉）。

连接压力：0.2～0.9N/mm^2（30～130psi）。

参考文献

Hot Plate Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

PC/ABS

在合适条件下的热工具焊接过程中，可以在 PC/ABS 的焊缝中获得高强度（母体的87%）和延展性（失效时形变是 2.4%）。

参考文献

Stokes VK：Toward a weld-strength database for hot-tool welding of thermoplastics. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

40.3.3 超声波焊接

拜耳：Bayblend，Triax

在 20kHz 频率和 20 ~ 40μm 振幅下对 Bayblend 板进行超声波焊接；推荐在 25 ~ 45μm 振幅下对 Triax 进行超声波焊接。

参考文献

Ultrasonic Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

PC/ABS

对 20kHz 的超声塑料焊接对刷上油漆的 PC/ABS 的焊接性进行了研究。试验的设计测试了未经油漆涂刷的试样的基本焊接条件，然后对刷上油漆的样品进行重复测试作为对比。结果表明，无论焊接表面是否经过油漆涂刷，超声波焊接都有很好的焊接性。在这项研究中，经油漆涂刷的样品比未经涂刷的样品获得较低的焊接强度，但是剪切焊接获得更高的焊接强度。

参考文献

St John M, Park JB: Ultrasonic weldability of painted plastics. ANTEC 1997, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Toronto, May 1997.

陶氏化学公司：Pulse 1370

这个研究旨在研究哪种树脂可以与其本身以及其他树脂进行有效地超声波焊接，以及用来识别其最大焊接完整性。除了着眼于不同热塑性材料的焊接强度外，这项研究还探究了伽马射线和环氧乙烷杀菌对这些焊缝强度的影响。评估了医疗保健行业中使用的包括 PC/ABS 混合物的工业树脂。

量身定做的 I 形梁试件用来测试拉伸强度以测定每个树脂在固态、非粘接试件时的初始强度，没有结合试件结构。这种基线测试的数据用于确定焊接后保持的强度占原始强度的百分比。无定形树脂最常用的能量传导器是一个 90°的对接接头，作为焊接结构。

不断尝试以使这个成为“现实”研究。焊接过程的目的是产生高强度的焊缝，并且保持部件的美观。已知的用于判断焊接好坏的一个最重要的因素是沿着接头两边观察到的焊瘤和溢出的数量。良好的焊接的另一个性质是焊接横截区域的完全浸润，但问题是，只有只有采用纯聚合物作为顶部样块才能看到完整的焊缝。

研究中几乎所有的树脂有一定的成功率焊接在一起。总的来说，树脂相容性、在部件中传输振动能量的能力和不同的玻璃化温度是产生优良焊缝的决定性特征。虽然在试验中没有显示，但应注意到树脂的焊接能力也是超声波焊接结构的一个函数。在研究使用的结构中焊接性优良的树脂在其他结构中的焊接性可能并不好。

PC/ABS 树脂与其自身或者 SAN、ABS、透明的 RTPU 和 PC 有非常好的焊接效果。因为无论是 PC 还是 ABS 都跟聚苯乙烯的焊接性不好，所以 PC 和 ABS 的混合物与聚苯乙烯的粘接性差也就不奇怪了。和聚氨酯一起焊接时 PC 相占支配地位，因此无法连接或连接很弱。如果表面主要存在 ABS，那么 ABS 和聚氨酯会有更好的焊接效果。在聚合物测试中，即使超出标准偏差，环氧乙烷或伽马杀菌也不会降低连接强度。

参考文献

Kingsbury RT: Ultrasonic weldability of a broad range of medical plastics. ANTEC 1991, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

40.3.4　振动焊接

拜耳：Bayblend

线性振动的振幅是0.6～0.9mm（0.024～0.035in），导轨式振动的振幅是0.4～0.7mm（0.016～0.028in），注意，Bayblend PC/ABS的焊接压力是1～2N/mm^2（145～290psi）。

参考文献

Vibration Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

通用塑料：Cycoloy（形状：注射板）

根据它们的相对树脂强度，普通的6.35mm（0.25in）厚的Cycoloy C1110和Cycoloy C2950HF的试样中可以得到83%的相对焊接强度，相应的失效应变大约是2.3%。但是，在较薄的厚度3.2mm（0.126in）的Cycoloy C2950HF试样中，得到的最高焊接强度是73%，失效时有较小的应变为1.8%。焊接强度依赖于厚度是因为这些材料注射部件有高度层压的表面形态，在较薄的样品中这个作用效果更明显。

6.35mm（0.25in）厚的Cycoloy C1110和PC的试样的相对焊接强度是85%，相比于Cycoloy C1110和自身的最大焊接强度，其相对焊接强度是83%，焊接的两边部件在失效时的应变是1.8%。0.32mm（0.126in）厚的Cycoloy C1110和PC的样品有一较低的最大焊接强度，大约是68%，失效时的应变是1.8%。与这个相比，Cycoloy C2950HF和自身的最大相对焊接强度是72%，失效时的应变是1.8%。Cycoloy C2950HF和ABS的相对焊接强度是85%。

参考文献

Stokes VK: The vibration welding of polycar-bonate/acrylonitrile-butadiene-styrene blends to themselves and to other resins and blends. *Polymer Engineering and Science*, 40 (10), p. 2175, October 2000.

通用塑料：PC/ABS

PC/ABS合金与其自身或者其他热塑性塑料的振动焊接得到的强度见表40.3。

表40.3　PC/ABS合金与自身及其他热塑性塑料的振动焊接得到的强度

材料系列	PC/ABS		
拉伸强度②/MPa（ksi）	60（8.7）		
断裂伸长率②（%）	4.5		
试样厚度/mm（in）	3.2（0.125）	3.2（0.125）	6.3（0.25）
配合材料			
材料系列①	ABS	PC	PC/ABS
拉伸强度②/MPa（ksi）	44（6.4）	68（9.9）	60（8.7）
断裂伸长率②（%）	1.8	6	4.5
试样厚度/mm（in）	3.2（0.125）	3.2（0.125）	6.3（0.25）
工艺参数			
工艺类型	振动焊接		
焊接频率	120Hz		
焊接接头特性			
焊接因子（焊缝强度/较弱的初始材料强度）	0.85	0.7	0.85
（名义上的）断裂伸长率②（%）	1.8	1.8	2.3

① ABS为丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物；PC为聚碳酸酯；PC/ABS为聚碳酸酯/ABS合金。

② 应变率为$10^{-2}s^{-1}$。

参考文献

Stokes VK: Toward a weld-strength data base for vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

40.3.5 溶剂焊接

拜耳：Bayblend

可以使用氯甲烷或二氯乙烷对 Bayblend 树脂部件进行焊接。二氯甲烷的高速蒸发速率可以帮助阻止简单装配时的溶剂蒸发气体的滞留俘获，复杂的装配则需要更长的固化时间，对于蒸发速率较小的二氯乙烷来说，则需要更长的装配时间。使用经常使用的 60：40 比例的二氯甲烷和二氯乙烷的混合溶液，其装配时间长于使用纯的二氯甲烷，这是因为蒸发速度降低。

当溶剂焊接 Bayblend 时，将发生脆裂。在焊接连接处部件将失去其完美的抗冲击强度。

当 Bayblend 树脂贴合得不是很好时，用5% ~10% 的聚碳酸酯二氯甲烷溶液可以得到光滑的填充完好的连接。不能用于补偿严重不匹配的连接。聚碳酸酯在二氯甲烷中的浓度增加会导致在接头外产生气泡。

在使用聚碳酸酯混合物时，高使用要求和最大连接强度的固化部件要复杂得多。不得不使用一种按照这些应用的温度规律增加的复杂的处理表（见表 40.4）。

表 40.4 Bayblend 树脂粘合剂固化表

连续夹持时间/h	零件或粘接温度/℃（℉）
8	23（73）
12	40（100）
12	65（150）
12	93（200）
12	110（225）

参考文献

Engineering Polymers. Joining Techniques. A Design Guide, Supplier design guide（5241（7.5M）3/01）, Bayer Corporation, 2001.

40.3.6 粘合剂粘接

PC/ABS

PC/ABS 合金与普通粘合剂的相容性见表 40.5。

表 40.5 PC/ABS 合金与普通粘合剂的相容性

特性评估	材料评估	与普通粘合剂的相容率[①]				
		丙烯酸	聚氨酯	氰基丙烯酸盐粘合剂[②]	环氧树脂	硅酮
强度	ProloyPC/ABS	1	4	3	3	5
抗冲击性	Proloy PC/ABS	2	1	5	4	4
间隙填充	Proloy PC/ABS	2	1	5	3	1

（续）

特性评估	材料评估	与普通粘合剂的相容率[1]				
		丙烯酸	聚氨酯	氰基丙烯酸盐粘合剂[2]	环氧树脂	硅酮
固化时间	Proloy PC/ABS	2	5	1	3	3
使用方便	Proloy PC/ABS	3	4	1	3	2

① 相容率指南：1为极好，2为非常好，3为良好，4为一般，5为差。这些速率是概括的并且会随特殊牌号而不同。应该在选择粘合剂前评估化学相容性以阻止应力开裂。

② 应力开裂是使用氰基丙烯酸盐粘合剂要关注的。推荐仔细地对其与基体的化学相容性进行评估。

参考文献

Techniques: Adhesive Bonding, Solvent Bonding, and Joint Design, Supplier technical report (#SR-401A), Borg-Warner Chemicals, Inc., 1986.

40.3.7 机械连接

拜耳：Bayblend FR-110

攻螺纹和自攻螺纹：表40.6列出了一些 Bayblend FR-110 PC/ABS 树脂的切制螺纹数据。这个数据是在螺钉被安装到制造商建议的孔直径中时得到的。螺钉凸台外径接近螺钉外径的两倍。

表40.6 Bayblend FR-110 PC/ABS 树脂的切制螺纹数据

螺纹尺寸和类型	螺纹长度/mm (in)	孔直径/mm (in)	驱动力矩/Nm (lb·in)	推荐拧紧扭矩/Nm (lb·in)	拆卸扭矩/Nm (lb·in)	螺纹拉出力/N (lb)
#6，23型	9.5 (0.375)	3.0 (0.120)	0.37 (3.3)	0.63 (5.6)	1.14 (10.15)	1552 (349)
#6，25型	12.7 (0.500)	3.0 (0.120)	0.37 (3.3)	0.89 (7.9)	1.93 (17.16)	1370 (308)
#6，23型	12.7 (0.500)	3.5 (0.136)	0.55 (4.9)	0.95 (8.4)	1.75 (15.5)	2130 (479)
#6，25型	14.3 (0.562)	3.7 (0.146)	0.47 (4.2)	1.3 (11.5)	2.96 (26.2)	2277 (512)

参考文献

Engineering Polymers. Joining Techniques. A Design Guide, Supplier design guide (5241 (7.5M) 3/01), Bayer Corporation, 2001.

40.4 PC/PBT 合金

40.4.1 热工具焊接

PC/PBT

在合适的条件下，热工具焊接在 PC/PBT 中可以得到的焊接强度很高（母体的98%），延展性也很高（失效时形变4.1%）

参考文献

Stokes VK: Toward a weld-strength database for hot-tool welding of thermoplastics. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

40.4.2 振动焊接

通用塑料：Xenoy 1102（形状：3.2mm（0.126in）厚的注射板）

PC/PBT 显示出很好的与 PBT 的焊接效果；在以下条件下对 PC/PBT 进行焊接的强度是98%：

频率：120Hz。

振幅：3.175mm（0.125in）。

压力：0.90MPa（130psi）。

焊深：0.56mm（0.022in）。

焊接时间：1.7s。

PC/PBT 与 M-PPO 焊接性良好；在以下条件下对 M-PPO 进行焊接的强度是73%：

频率：120Hz。

振幅：3.175mm（0.125in）。

压力：0.90MPa（130psi）。

焊深：0.55mm（0.022in）。

焊接时间：2.0s。

PC/PBT 与 PPO/PA 的焊接性差，两者不能焊接。

参考文献

Stokes VK：The vibration welding of poly (butylene terephthalate) and a polycarbonate/poly (butylene terephthalate) blend to each other and to other resins and blends. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 15 (4), p. 499, 2001.

通用塑料：PC/PBT

表 40.7 给出了 PC/PBT 合金与其自身和聚碳酸酯振动焊接的强度。

表 40.7 PC/PBT 合金与其自身和聚碳酸酯振动焊接的强度

材料系列	PC/PBT	
拉伸强度②/MPa（ksi）	50（7.3）	
试样厚度/mm（in）	6.3（0.25）	
配合材料		
材料系列①	PC	PC/PBT
拉伸强度②/MPa（ksi）	68（9.9）	50（7.3）
断裂伸长率②（%）	6	
试样厚度/mm（in）	3.2（0.125）	6.3（0.25）
工艺参数		
工艺类型	振动焊接	
焊接频率	120Hz	
焊接接头性质		
焊接因子（焊缝强度/较弱的初始材料强度）	1.0	1.0
（名义上的）断裂伸长率②（%）	4.9	>15

① PC：聚碳酸酯；PC/PBT 合金。

② 应变速率：$10^{-2}s^{-1}$。

参考文献

Stokes VK: Toward a weld-strength data base for vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1995, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 1995.

40.5 PC/PCT 合金

40.5.1 溶剂焊接

Eastman：Ektar MB DA003（特征：透明）

在估计塑化的 PVC 与刚性、透明的热塑性塑料的焊接性/相容性的试验中，发现当使用 50∶50 比例的环己烷和 MEK 混合溶液或者氯甲烷环己烯溶液进行溶剂焊接时，PCTG-PC 表现出足够的焊接强度。MEK 或者氯甲烷含量的增加伴随着焊接强度的降低。四氢呋喃和 1，2-二氯乙烷的末端焊接数据不一致。无论是焊接强度还是插入的简易性，和 PCTG-PC 焊接时，丙酮表现的性能都不佳。如果氯甲烷超过 50%，则增加了装配的困难程度。然而，使用任何溶剂进行连接都不会出现微裂。建议使用的混合溶剂是 50∶50 比例的氯甲烷和环乙烯的混合溶液。

参考文献

Haskell A: Bondability/compatibility of plasticized PVC to rigid, transparent thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

40.6 PC/PET 合金

40.6.1 超声波焊接

拜耳：Makroblend UT400

通过模内成型的带有导能器的拉伸测试棒（宽 12.8mm（0.504in），厚 3.2mm（0.126in））在下述两种模式下的 18 种条件下进行超声波焊接：由变化的力触发的恒能量模式和带有延迟计时器触发的基于时间模式。试验条件的建立是按照 Taguchi 统计试验设计的 L18 正交阵列。必须指出排列时能量角和延长时间的设置可以分析出它们之间的相互作用。焊接后，拉出强度的测试是在 50mm/min（1.97in/min）的拉伸速率下进行的。

一个重要的结果是可以在很宽的焊接条件下对冲击变形的 PC/PET 进行焊接；能量不变模型比时间基础模型有更大的价值。在相似的试验条件下的 PC 焊接可以得到相似的结论。

在能量不变模型中，能量角随着延迟时间的设定能量的相互作用增强。为了得到最好的拉出强度，在 60°能量角的条件下需要更长的延迟时间（0.3s），90°能量角的条件下需要的延迟时间较短（0.1s）。同时发现，能量设置值越高，拉出强度越高。

与能量不变模型相比，时间基础模型随着时间延迟的设定能量的相互作用变化趋势并不单一。有趣的结果是在时间基础模型中，焊接时间越长，拉出强度越高。

表 40.8 给出了冲击改性聚酯 PET/聚碳酸酯混合物的最佳超声波焊接条件。能量不变模型和时间基础模型的最适宜焊接条件明显不同：前者的安装压力显著比后者要低（62kPa 和 104kPa；9psi 和 15psi），这说明能量不变模型比时间基础模型更易于熔化。

表 40.8 冲击改性聚酯 PET/聚碳酸酯混合物的最佳超声波焊接条件

模式	焊接参数	导能器	
		60°	90°
恒定能量模式	能量设定值/J	260	260
	延迟计时器/s	0.3	0.1
	保持计时器/s	0.25	0.25
	保持压力/kPa	62	62
基于时间模式	焊接计时器/s	0.5	0.5
	延迟计时器/s	0.2	0.3
	保持计时器/s	0.65	0.65
	保持压力/kPa	104	104

参考文献

Chung JY, Charles JJ: Properties of an impact modified polycarbonate/polyethylene terephthalate blend. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

40.6.2 溶剂焊接

Bayer：Makroblend

Makroblend 树脂不能使用溶剂焊接。因为 Makroblend 的聚酯成分和高的抗化学性，只有极好的溶剂才能用于焊接，但是些溶剂又会引起低的焊接强度。

参考文献

Engineering Polymers. Joining Techniques. A Design Guide, Supplier design guide (5241 (7.5M) 3/01), Bayer Corporation, 2001.

40.7 PPO/PA 合金

40.7.1 热工具焊接

PPO/PA

在合适的条件下，可以在 PC/PBT 的热工具焊接中得到很高的强度（母体的 100%）和延展性（失效时应变 4.5%）

参考文献

Stokes VK: Toward a weld-strength database for hot-tool welding of thermoplastics. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

40.7.2 振动焊接

通用塑料：Noryl GTX 910（形状：6.35mm（0.25in）厚的注射板）

在焊接频率为 120Hz、振幅为 3.175mm（0.125in）、焊深为 0.13 ~ 1.27mm（0.005 ~ 0.050in）、焊接压力为 0.90 ~ 6.89MPa（130 ~ 1000psi）的条件下进行焊接。

结果表明 Noryl GTX 910 焊接效果非常好，甚至在 0.90MPa（130psi）的焊接压力下，

也可以使相对焊接强度（焊接强度与材料最大强度的比例）大于90%，失效时的相应应变也很高。在较高压力3.45～6.89MPa（500～1000psi）范围内，在所有考虑过的焊深下，焊接强度是一样高的；失效时相应的形变也很高。在这些压力下相对焊接强度高于100%的因素有两个：首先，在较高压力下，焊接区域的厚度取决于锻造的作用，所以承载负荷的区域增加。其次，焊接强度被平均树脂强度所规范，所以基体树脂强度的变化引起相对焊接强度超过100%。

在PPO/PA焊接中可以得到很高的焊接强度，正如在尼龙66中的高焊接强度一样，是PA在混合物中形成了连续相。

参考文献

Stokes VK: Vibration weld strength data for poly (phenylene oxide)/polyamide blend. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 17 (9), p. 1161, 2003.

通用塑料：Noryl GTX 910（形状：3.2mm（0.126in）厚的注射板）

PPO/PA不能与PBT进行实用型焊接，也不能与PC/PBT焊接。

参考文献

Stokes VK: The vibration welding of poly (butylene terephthalate) and a polycarbonate/poly (butylene terephthalate) blend to each other and to other resins and blends. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 15 (4), p. 499, 2001.

通用塑料：改性PPE/PA合金

聚苯乙烯改性聚苯醚/尼龙合金与其自身或其他热塑性树脂的振动焊接强度见表40.9。

表40.9 聚苯乙烯改性聚苯醚/尼龙合金与其自身或其他热塑性树脂的振动焊接强度

材料系列	M-PPO/PA		
拉伸强度②/MPa (ksi)	58 (8.5)		
断裂伸长率② (%)	>18		
试样厚度/mm (in)	6.3 (0.25)		
配合材料			
材料系列①	M-PPO/PA	M-PPO	PC
拉伸强度②/MPa (ksi)	58 (8.5)	45.5 (6.6)	68 (9.9)
断裂伸长率② (%)	>18	2.5	6
试样厚度/mm (in)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)	6.3 (0.25)
工艺参数			
工艺类型	振动焊接		
焊接频率	120Hz		
焊接接头性质			
焊接因子（焊缝强度/较弱的初始材料强度）	1.0	0.22	0.29
（名义上的）断裂伸长率② (%)	>10	0.35	0.75

① M-PPO为改性PPO；M-PPO/PA为改性PPO/PA合金；PC为聚碳酸酯。

② 应变速率为$10^{-2}s^{-1}$。

参考文献

Stokes VK：Toward a weld-strength data base for vibration welding of thermoplastics. ANTEC 1995，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Boston，May 1995.

40.7.3 溶剂焊接

通用塑料：Noryl GTX（聚苯乙烯改性聚苯醚/尼龙 6 合金）

Noryl GTX 等级不会像标准的 Noryl 树脂那样用溶剂焊接得很好，其他方式（如超声波焊接）更加适合。

参考文献

Noryl Design Guide，Supplier design guide（CDX-83D（11/86）RTB），General Electric Company，1986.

40.8 PPO/PPS 合金

40.8.1 振动焊接

PPO/PPS

在焊接压力为 0.52～1.72MPa（75～250psi），频率为 240Hz 时，50% 的 PPO 和 50% 的 PPS 的混合物（质量分数）的焊接强度最高。在焊接压力为 1.72MPa（250psi）时的最高相对焊接强度（相应的失效形变量）是 85.5%（1.75%），在 240Hz 时焊接强度随着压力的增加而增加，所以在更高的焊接压力下可以取得更高的焊接强度。

参考文献

Stokes VK：The vibration welding of poly（phenylene oxide）/poly（phenylene sulfide）blends. *Polymer Engineering and Science*，38（12），p. 2046，December 1998.

第 41 章　热塑性弹性体

41.1　烯烃族的热塑性弹性体

41.1.1　概述

DSM：Sarlink 4000（应用：汽车，建筑工业；特征：改良的弹性性能）

适合于 Sarlink 的热焊接技术可以形成很高的焊接强度。Sarlink 等级可以很容易地和自身或其他非极性聚合物（如聚烯烃）进行热焊接。

参考文献

Sarlink Typical Properties of Thermoplastic Elastomer Grades, Supplier marketing literature（8/95（4000））, DSM Elastomers, 1995.

41.1.2　热工具焊接

TPO 热塑性聚烯烃

本研究主要对两种特殊的热塑性聚烯烃（TPOs）的热工具焊接的焊接性进行。采用了三个因素（加热温度，加热时间和焊接压力）和三种水平的正交设计。结果表明两种 TPO 材料可以成功地使用热工具焊接方法。发现最大接头强度是基体材料强度的 86%。

与振动焊接相比，热工具焊接的焊接强度较高，而且循环使用时间较长。

参考文献

Wu CY, Mokhtarzadeh A, Rhew M, Benatar A: Heated tool welding of thermoplastic polyolefins（TPO）. ANTEC 2003, Conference Proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

41.1.3　超声波焊接

TPO

最佳焊接参数如下：

熔化距离：0.75mm（0.030in）。

焊接压力：300N（67lbf）。

保持时间：2.0s。

发现连接处的涂料涂层对材料的焊接性影响显著。测试的材料需要一个很高的机械压力才能获得更高的焊接强度。

参考文献

Park J, Liddy J: Effect of paint over spray for vibration and ultrasonic welding process. ANTEC 2004, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

TPO

设计试验以确定超声波焊接的最佳工艺参数设置条件和最佳设置条件的稳健性，以及不

同的重研磨的成分的平均焊接强度。

使用两种类型的重研磨材料（未涂漆的和涂漆的基体的重磨物）以研究在焊接中涂漆成分是否起作用。对强度和功率要求的影响不显著。

在表 41.1 中描述的最佳设置焊接因素下，对洁净的材料板进行焊接可以获得最高的焊接强度，随着板中重新研磨组分的增多，焊接强度降低。100% 重新研磨板的焊接强度降低 10%。考虑到重新研磨组分的含量，发现在 TPO 超声波焊接过程中完全可以忽略重新研磨材料的使用。包含 40% 的喷漆的和未喷漆的重新研磨部分的泡沫喷漆板的平均焊接强度是 378 ~ 358N（85.0 ~ 80.5lbf）。通过比较喷漆的重新研磨部分的含量分别为 40%、14% 和 19% 的板的焊接强度，发现喷漆的和未喷漆的再研磨薄板的焊接强度降低。

表 41.1 TPO 超声波焊接的最佳设置条件

焊接参数	最佳设置条件
熔化距离①/mm	0.75
焊接力②/N	300
保持时间/s	2.0
振幅③（%）	100

① 熔化距离是一个绝对距离，在位于角和平板间的接触压力达到 300N（67lbf）的触发力之后确定。
② 焊机压力可以由焊接力除以空气圆柱的横截面积来计算。对于这个机器来说，空气圆柱的直径是 40mm（1.6in）。
③ 100% 的振幅设置在 35kHz 的频率下产生 0.01456mm（0.00057in）的振幅。

在相同的熔化（塌陷）距离下，泡沫喷雾比规则板的熔化程度小。这主要是因为在透过喷涂板涂料层时造成了有效能量的浪费。因此，喷涂板的焊接强度较低。

参考文献

Park J, Liddy J: Design of experiments (DOE) procedures to evaluate ultrasonic weldability of materials. ANTEC 2000, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Orlando, May 2000.

41.1.4 振动焊接

TPO

最佳焊接参数如下：

熔化距离 1.4mm（0.055in）。

焊接压力：2.3MPa（330psi）。

保持时间：3.0s。

连接处涂层对材料焊接强度的影响不显著。在振动焊接过程中，为了克服涂层必须有一个自清洁机制。

参考文献

Park J, Liddy J: Effect of paint over spray for vibration and ultrasonic welding process. ANTEC 2004, Conference Proceedings, Society of Plastics Engineers, Chicago, May 2004.

ATC 聚合物（填充物：滑石粉；特征：坚硬；形状：3.2mm（0.13in）厚的注射板）

测试了 3 种影响因素两种水平的 DOE，发现焊接时间是影响振幅的最显著的一个因素。另外，高的振幅减少了需要到达特殊的熔化状态的时间。相反的，高的焊接压力增加了需要达到特殊的熔化状态的时间。这可能是由在固体生热摩擦中高压力约束移动导致的，也可能是因为在粘性发热中有剪切变稀现象。

25mm×3.2mm 样品的 T 形焊接强度是 1323N（297lbf），大约是基体材料焊接强度的 60%。

参考文献

Wu CY，Trevino L：Vibration welding of thermoplastic polyolefins. ANTEC 2002，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，San Francisco，May 2002.

41.1.5　激光焊接

热塑性聚烯烃（形状：2mm（0.08in）厚的注射板）

在作为传送材料的动态交联的聚烯烃弹性体和作为吸收材料的滑石粉增强的聚丙烯之间进行激光焊接试验。激光波长为 940nm，输出能量为 10～50W，扫描速率为 10mm/s（0.4in/s），激光束直径为 1.0mm（0.04in），焊接压力为 0.4MPa（58psi）。

在 TPV 中混合黑色着色剂比无添加剂的样品焊接强度高，因为黑色着色剂可以阻止树脂吸收过度的热。

参考文献

Isoda A，Hatase Y，Nakagawa O，Yushina H：Laser transmission welding of colored thermoplastic elastomers and hard plastics. ANTEC 2006，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Charlotte，May 2006.

杜邦陶氏弹性体：Engage（形状：3mm（0.12in）厚的注射拉伸样条）

用平均能量是 100W 的掺镱光纤激光器进行传输激光焊接。激光束聚焦的直径大约是 0.5mm（0.2in），传递到工件上的不是聚焦的激光束。三种影响因素两种水平的样品测试是为了最终确定聚烯烃弹性体和聚烯烃弹性体的焊接性。影响因素有激光能量、速度以及固定压力。做焊接的周剪切试验得出相对焊接强度的大小。

能量和速度是影响强度和所有聚烯烃弹性体相互作用的显著因子。增加能量以及减小速度可以增加强度。能量的稍微增加可以配合速度的显著增加来获得持久的强度。压力对较软的聚烯烃弹性体影响很小，对硬质的热塑性聚烯烃没有影响。

聚烯烃弹性体与自身的焊接强度和聚烯烃弹性体的最终拉伸测试具有相同的升降趋势。

参考文献

Wu CY，Douglass DM：Fiber laser welding of elastomer to TPO. ANTEC 2004，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Chicago，May 2004.

巴赛尔聚烯烃：TPO（形状：3.2mm（0.126in）厚的注射板）

对影响不同颜色的聚烯烃弹性体与自身的激光焊接性的三个因素（激光能量，焊接时间和扫描速度）进行了测试。巴赛尔的天然聚烯烃 PP 共聚物。三种热塑性聚烯烃材料（黑色的，蓝色的，棕褐色的），包含聚丙烯、滑石粉填充剂和橡胶改性剂作为吸收层，使用波长是 1.06nm 的 200W 的脉冲 ND：YAG 激光。

3.2mm（0.126in）厚的天然聚丙烯有 29% 的传递速率。黑色热塑性聚烯烃有更大的激光吸收率，然后是蓝色的，最后是棕褐色的。因此，黑色的 TPO 在最短的焊接时间内可以达到最大的焊接强度。另外，扫描速率降低，达到最大焊接强度的时间也减小。

参考文献

Wu CY，Cherdron M，Douglas DM：Laser welding of polypropylene to thermoplastic polyolefins. ANTEC 2003，Conference proceedings，Society of Plastics Engineers，Nashville，May 2003.

41.1.6 粘合剂粘接

DSM：Sarlink 4000（应用：汽车，建筑工业；特征：高弹性）

高极性物质比低极性物质更有利于形成较好的粘接，例如聚烯烃 Sarlink 4000 系列，在合适的温度下，高活性的 Srlink 4000 系列的溶剂有高的粘接性。

参考文献

Sarlink Typical Properties of Thermoplastic Elastomer Grades, Supplier marketing literature（8/95（4000）），DSM Elastomers, 1995.

41.2 聚酯热塑性弹性体

41.2.1 概述

巴斯夫：Ecoflex（特征：可生物降解）

Ecoflex F 适合超声波焊接和高频焊接

参考文献

Ecoflex Biodegradable Plastic, Supplier design guide, BASF.

41.2.2 热工具焊接

杜邦：Hytrel

所有等级的 Hytrel 都可以进行热工具焊接，然而吹塑型的 Hytrel（如 HTR4275）很难获得高的焊接强度，这是因为低的熔体流量使两熔化体的表面流动融合在一起很困难。如果这个问题发生，将温度升高到 280℃（536℉）可能会有帮助。板表面的温度应高于 Hytrel 型熔点以上 20～50℃（36～90℉）。

表 41.2 给出了 Hytrel 与其他的热塑性材料的热板焊接结果。板的熔化温度通常是 300℃（536℉），焊接时间是 7～9s。

加热楔焊成功地应用在坦克履带的工厂进行预加工。

表 41.2 Hytrel 与其他的热塑性材料的热板焊接结果

好的焊接	可能有问题的焊接	不能焊接
聚碳酸酯	苯乙烯	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯
SAN	聚醚砜	聚丙烯
醋酸纤维素	乙烯-醋酸乙烯共聚物	尼龙 66
聚氯乙烯		聚乙烯
		丙烯酸树脂

参考文献

Hytrel Thermoplastic Polyester Elastomer Design Guide, Supplier design guide（H-81098），DuPont Company, 2000.

41.2.3　超声波焊接

杜邦：Hytrel

超声波焊接是安装硬质型 Hytrel 的加工部件的一种较好的方法。汽车阀体配件的设计是个很好的例子（见图 41.1）。阶式接头置于下部部件的外侧，下部部件的腹板被保留或者支持焊接表面的直径，然后上部部件的匹配表面被环绕的固定物固定，这将会克服部件上部表面向中心变形的可能性。当然，这个扭曲变形会影响焊接强度。使上部焊接表面的轴向长度（2.03mm，即 0.8in）大于下部焊接表面的轴向长度（1.9mm，即 0.075in），保证部件的焊接线降到最低点。

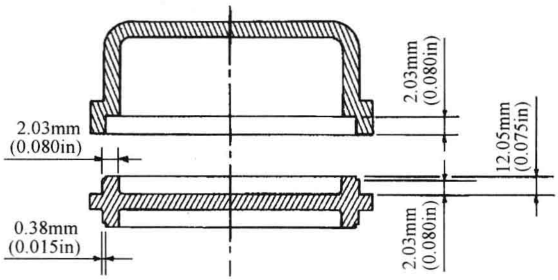


图 41.1　为超声波装配而设计的 Hytrel 聚酯热塑性弹性体汽车阀体配件。

以下因素对决定这个方法是否适应 Hytrel 有重要影响：

- Hytrel 需要高能量输入，这是因为它的柔性性质。
- 如果装配不同等级的 Hytrel，这些等级的材料的熔点差不能大于 10～15℃（18～27℉）。

参考文献

Hytrel Thermoplastic Polyester Elastomer Design Guide, Supplier design guide（H-81098）, DuPont Company, 2000.

41.2.4　振动焊接

杜邦：Hytrel

对于有大的焊接面积的刚性部件，最好的焊接方法是振动焊接。例如，用于汽车燃料蒸气排放控制的碳质滤毒罐（见图 41.2）。因为是矩形，所以旋转焊接是不实用的；大的焊接面积预先排除了超声波焊接——因为这需要高能量焊接源，而且需要密封。这个应用中的振动焊接是线性的，覆盖板和主体的相对移动要沿着轴线，即主体开端的长中心线。焊接过程中要保证焊接表面边缘的光滑性，覆盖面的凹处和主体内部需要进行清洁。

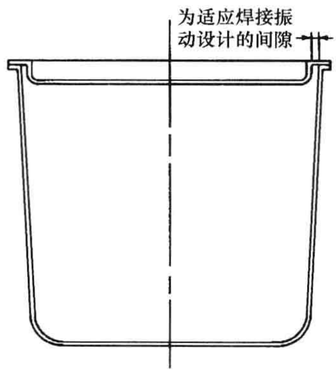


图 41.2　适于 Hytrel 振动焊接装配的汽车碳质滤毒罐设计。

参考文献

Hytrel Thermoplastic Polyester Elastomer Design Guide, Supplier design guide（H-81098）, DuPont Company, 2000.

41.2.5 高频焊接

杜邦：Hytrel

高频焊接一般只应用于薄板焊接（高于1.5mm（0.06in）），但非常适合于工厂焊接。Hytrel比其他塑料的介电损耗小，所以1.5kW的机器的最佳电极面积大约是150mm×12mm（5.9in×0.5in），即1800mm^2（2.95in^2）。用1.5kW的机器可以简单焊接的最大厚度是1.5mm（0.06in）的薄板。Hytrel比聚氯乙烯需要更高的电压和更小的电极。焊接时间在3~8s范围，取决于Hytrel的等级和厚度等。加热（温度控制的）电极是可靠结果的最佳选择，因为特殊材料等级，厚度需要的功率设置依赖于电极的温度。

这种方法可以很好地焊接40D和55D等级的材料。比Hytrel板硬，厚度大于1mm（0.04in）的材料也可以焊接，但是焊接时间要长。

参考文献

Hytrel Thermoplastic Polyester Elastomer Design Guide, Supplier design guide (H-81098), DuPont Company, 2000.

41.2.6 热气体焊接

杜邦：Hytrel

热气体焊接可用于密封Hytrel薄板（0.5~1.5mm，即0.02~0.06in），应用在水槽或者储池衬板的加工中。这项技术只应用在某些Hytrel等级中，如4056、G4075和5556。非常高的或非常低的熔体流量等级（如5526和HTR4275）以及添加剂如10MS，都不能使用这种方法进行焊接。

参考文献

Hytrel Thermoplastic Polyester Elastomer Design Guide, Supplier design guide (H-81098), DuPont Company, 2000.

41.2.7 挤出焊接

杜邦：Hytrel

几种等级的Hytrel薄板可以使用此种方法得到良好的焊接，包括那些含有10MS的型材。

参考文献

Hytrel Thermoplastic Polyester Elastomer Design Guide, Supplier design guide (H-81098), DuPont Company, 2000.

41.2.8 机械连接

杜邦：Hytrel

卡扣：Hytrel树脂凸缘型卡扣连接建议的许用应变见表41.3。

表41.3 Hytrel树脂凸缘型卡扣连接建议的许用应变

	许用应变（%）	
材料	一次性使用的（新材料）	频繁使用的
Hytrel	20	10

参考文献

DuPont Engineering Polymers. General Design Principles—Module I, Supplier design guide, DuPont Company, 2002.

41.3　聚氨酯热塑性弹性体

41.3.1　概述

巴斯夫：Elastollan

以下焊接技术可以很成功地用于成品和半成品的 Elastollan 部件的焊接：

- 注射部件主要通过热板焊接、超声波焊接（硬质部件）、高频焊接或者摩擦焊接连接在一起。
- 对于半成品部件或者轮廓来说，使用热板焊接、摩擦焊接或者热气体焊接。
- 对于薄膜来说，最好的焊接强度通过热密封、热脉冲焊接或者高频焊接得到。

参考文献

Elastollan Processing Recommendations, Supplier technical information (Z/M, Fro 208-2-05/GB), BASF, 2005.

41.3.2　热工具焊接

拜耳：Desmopan

Desmopan 推荐的热板焊接参数如下：

热板温度：270～320℃（518～608℉）。

接头压力：0.3～1.0N/mm^2（44～145psi）。

参考文献

Hot Plate Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

41.3.3　超声波焊接

拜耳：Desmopan

Desmopan 具有高吸湿性，可以很大程度地吸收超声波，从而引起零件的内热。并且会减少超声波到达接头处的振动能量。

参考文献

Ultrasonic Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

陶氏化学：Pellethane 2363-55D（特征：55 肖氏 D 硬度）；**Pellethane2363-75D**（特征：医用等级，75 肖氏 D 硬度）

这个研究旨在研究哪种树脂可以与其本身以及其他树脂进行有效地超声波焊接，以及用来识别其最大焊接完整性。除了着眼于不同热塑性材料的焊接强度外，这项研究还探究了伽马射线和环氧乙烷杀菌对这些焊缝强度的影响。评估了保健行业中使用的包括热塑性聚烯烃在内的工业树脂。

量身定做的 I 形梁试件用来测试拉伸强度以测定每个树脂在固态、非粘接试件时的初始强度，没有结合试件结构。这种基线测试的数据用于确定焊接后保持的强度占原始强度的百分比。无定形树脂最常用的能量传导器是一个 90°的对接接头，作为焊接结构。

不断尝试以使这个成为“现实”研究。焊接过程的目的是产生高强度的焊缝，并且保持部件的美观。已知的用于判断焊接好坏的一个最重要的因素是沿着接头两边观察到的焊瘤和溢出的数量。良好的焊接的另一个性质是焊接横截区域的完全浸润，但问题是，只有只有采用纯聚合物作为顶部样块才能看到完整的焊缝。

总的来说，树脂相容性、在部件中传输振动能量的能力和不同的玻璃化温度是产生优良焊缝的决定性特征。虽然在试验中没有显示，但应注意到树脂的焊接能力也是超声波焊接结构的一个函数。在研究使用的结构中焊接性优良的树脂在其他结构中的焊接性可能并不好。

研究中的两种 TPU 与聚苯乙烯、聚碳酸酯以及 PC/ABS 混合物的焊接性不好。两种树脂中较刚性的 75D 材料可以与自身和 RTPU 以及 ABS 很好地连接。较软的 55D TPU 与任何材料的焊接性均不好，这是因为聚合物的柔性，它吸收能量而不是将其转变成摩擦热。在研究的开始阶段，柔软的 80A 的 TPU 没有任何焊接能力。在这项研究中，环氧乙烷或伽马杀菌对 TPU 树脂的影响不大。

参考文献

Kingsbury RT: Ultrasonic weldability of a broad range of medical plastics. ANTEC 1991, Conference Proceedings, Society of Plastics Engineers, Montreal, May 1991.

41.3.4 振动焊接

拜耳: Desmopan

线性振动的焊接条件如下：

振幅：0.6～0.9mm（0.024～0.035in）。

轨道式振动的振幅：0.4～0.7mm（0.016～0.027in）。

Desmopan（只是硬质）的焊接压力：1～2N/mm^2（145～290psi）。

软质 Desmopan 没有必要的固有稳定性，倾向于振动，因此不适合振动焊接。

参考文献

Vibration Welding, Supplier design guide, Bayer MaterialScience AG, 2007.

41.3.5 高频焊接

TPU（形状：涂覆织物）

涂有织物的热塑性聚氨酯弹性体的高频焊接（27.12MHz）能力在温度为 50℃（122℉）时达到最高。最高剥离力出现在焊接温度高于聚合物硬质部分的熔点（180℃，即 356℉）时。

焊接时的相互作用取决于温度。当温度低于 180℃（356℉）时，抵抗剥离力只是来自于两种涂覆织物 TPU 接触面的柔性部分的缠绕。当温度等于或高于 180℃（356℉）时，两种涂覆织物的硬质部分熔化和混合的内聚力使其抗剥离力增大。

参考文献

Hollande S, Laurent JL, Lebey T: High-frequency welding of an industrial thermoplastic polyurethane elastomer-coated fabric. *Polymer*, 39 (22), p. 5343, 1998.

TPAU（类型：芳香族聚氨酯）

在无线电频焊接研究中，聚氨酯与其自身和所有的刚性和柔性 PVC 材料的焊接性良好。

当考虑焊接的蠕变性时，得到了一个有趣的结果：当聚氨酯和其自身以及与刚性 PVC 焊接时，在焊接时故意切断的样本会产生更好的效果。然而，在聚氨酯和柔性 PVC 的混合物中，没有切断的焊接样本有更好的结果（见表41.4）。

表41.4 芳香族聚酯型聚氨酯与自身及其他材料的高频焊接强度①

材料	连接材料	高频焊接时不切穿试样	高频焊接时切穿试样	
			没有老化	60℃(140℉)下老化48h
芳香族聚酯型聚氨酯	TPE 合金	不粘	不粘	
芳香族聚酯型聚氨酯	苯乙烯类 TPE	不粘	不粘	
芳香族聚酯型聚氨酯	芳香族聚酯型聚氨酯	一般（6% ~15%潜能）	非常好（31% ~50%潜能）	一般（6% ~15%潜能）
芳香族聚酯型聚氨酯	含不透射线填充剂的 PVC 75A	非常好（31% ~50%潜能）	好（16% ~30%潜能）	一般（6% ~15%潜能）
芳香族聚酯型聚氨酯	透明硬质 PVC 80D	一般（6% ~15%潜能）	非常好（31% ~50%潜能）	超好（>50%潜能）
芳香族聚酯型聚氨酯	透明柔性 PVC80A	超好（>50%潜能）	好（16% ~30%潜能）	一般（6% ~15%潜能）
芳香族聚酯型聚氨酯	透明柔性 PVC65A	非常好（31% ~50%潜能）	好（16% ~30%潜能）	一般（6% ~15%潜能）

① 每个焊缝单位横截面上的断裂强度由计算得到，然后与较弱材料的拉伸强度相除。这个数乘以100表示的焊缝强度表示强度最大可能值（也称"潜能"）的百分比。

加热老化有降低聚氨酯/聚氨酯和聚氨酯/柔性 PVC 混合物的焊接强度的趋势，而在聚氨酯/刚性 PVC 混合物中的焊接强度增加。塑化剂从柔性材料到网面的迁移将稳定聚氨酯/柔性 PVC 的剥落强度，这个现象在升温老化时更加明显。然而，刚性 PVC 缺少塑化剂，并且加速的升温老化将会增加焊接后链缠绕的机会。

参考文献

Leighton J, Brantley T, Szabo E: RF welding of PVC and other thermoplastic compounds. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

41.3.6 粘合剂粘接

陶氏化学：Pellethane 2363-55D

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表41.5中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂

的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表 41.5 中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表 41.5 采用乐泰公司的粘合剂对 Pellethane 2363-55 PU 与 PU 进行粘接的剪切强度

[单位：MPa（psi）]

材料成分		乐泰粘合剂					
		Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/ Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
非填充树脂	14rms	1.4 (200)	2.4 (350)	9.7 (1400)	2.4 (350)	2.4 (350)	7.9 (1150)
粗加工的	167rms	2.4 (350)	9.3 (1350)	13.5 (1950)	9.0 (1300)	10.3 (1500)	11.7 (1700)
UV 稳定剂	1% Tinuvin 328	0.7 (100)	1.4 (200)	6.6 (950)	1.0 (150)	2.4 (350)	5.2 (750)
阻燃剂	15% BT-93，2% 氧化锑	1.4 (200)	3.1 (450)	>12.8① (>1850①)	4.1 (600)	>9.7① (>1400①)	>9.3① (>1350①)
增塑剂	13% TP-95	0.3 (50)	1.0 (150)	>5.2① (>750①)	1.0 (150)	1.4 (200)	3.1 (450)
润滑剂 1#	0.5% Mold Wiz INT-33PA	1.4 (200)	5.5 (800)	>14.8① (>2150①)	4.8 (700)	6.2 (900)	>12.4① (>1800①)
润滑剂 2#	0.5% FS1235 硅酮	3.1 (450)	>15.5① (>2250①)	>20.0① (>2900①)	8.6 (1250)	>18.3① (>2650①)	>16.2① (>2350①)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘接性能：将 Prism 401 瞬间粘合剂与 Prism Primer 707 结合使用，获得的粘接强度高于聚氨酯基层的公式估计强度。典型情况下，大多数测试的粘合剂都可以获得良好的粘接强度。乐泰 3651 和环氧树脂 1942 热熔胶粘焊剂在未填充聚氨酯上得到的焊接强度

最低。

表面处理：将 Prism Primer 707 和 Prism 401 瞬干胶结合使用，或者将 Prism 4011 医疗设备瞬干胶与 Prism Primer7701 结合使用，会引起聚氨酯焊接强度的显著增加。表面粗糙度高也可以增加聚氨酯胶粘强度。

其他性能：当有未处理的氰基丙烯酸盐粘合剂时，PVC 会因应力存在而裂开，所以任何过量的粘合剂都必须立即从表面移除。聚氨酯与丙烯酸粘合剂相容，但是在对粘合剂处理之前不能接触它们的活化剂，任何过量的活化剂都必须立即从表面移除。聚氨酯与厌氧胶不能相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

巴斯夫：Elastollan

为了帮助粘合，推荐使用没有润滑的 Elastollan 材料。聚氨酯基弹性粘合剂对 Elastollan 零件有很好的粘接性能。环氧树脂粘合剂用于金属以及其他硬质材料的粘接。

参考文献

Elastollan Processing Recommendations, Supplier technical information (Z/M, Fro 208-2-05/GB), BASF, 2005.

41.4 苯乙烯族热塑性弹性体

41.4.1 概述

Evode 塑料：Evoprene G（化学类型：苯乙烯，丁二烯，苯乙烯嵌段共聚物（SEBS））

加热焊接和超声波焊接可以用于模塑和挤出零件，尽管粘接强度不如极性材料高。

参考文献

Technical Information Evoprene G, Supplier technical report (RDS 028/9240), Evode Plastics.

41.4.2 高频焊接

Styrenic TPE

尽管 Styrenic 热塑性弹性体的射频（RF）焊接效果不错，但是后来的研究表明焊接质量很差。实际上，可以用手将焊缝轻易地掰开。对这种材料的任何连接（包括和自身的连接）都无法得到有用的焊缝。对此一个可能的解释就是，聚合物链中芳香族的存在会导致较大的位阻。因此，没有机械搅拌，很难使这些材料搅动和混合。

参考文献

Leighton J, Brantley T, Szabo E: RF welding of PVC and other thermoplastic compounds. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

41.4.3 粘合剂粘接

Evode 塑料：Evoprene G（化学类型：苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物（SEBS））

特殊的氰基丙烯酸盐粘合剂可以在 Evoptrne G 和一系列物质（如来自 Evode 特殊粘合剂的 Evotech TC733）之间形成高强度焊接。另外，投入市场的特殊原始物可以用一系列粘合剂进行安装和插接。

参考文献

Technical Information Evoprene G, Supplier technical report (RDS 028/9240), Evode Plastics.

41.5 乙烯热塑性弹性体

41.5.1 超声波焊接

增塑的 PVC（形状：人造革）

人造革是一种自然或合成纤维的增强 PVC 材料。

与其他焊接人造革的方法相比，超声波焊接可以获得高的焊接质量，甚至是与非热塑性基体，还有接触面涂有热塑性物质的材料。超声波焊接可以成功地通过带有热塑性薄板或者薄膜的非热塑性基体物质对人造革进行焊接，其中的热塑性薄板或者薄膜是一种可以与人造革材料相容的材料。当然也可以通过中间介质层，例如发泡聚氨（TPU），在人造革和人造革之间进行焊接。

通过 FPU 介质层对人造革和 PVC 进行焊接，在通过多孔基体完成对涂有 PVC 的材料的筛选，形成与 PVC 涂层熔体的物理接触时，FPU 转换成粘性液体，从焊接区域移除。

超声波焊接人造革有高的焊接强度和较完美的表面，其中焊接板的厚度要严格控制在 0.7 ~0.9 范围（包括 PVC 基体和涂层的整体厚度）。在一个较宽的焊接条件下的试验表明，剪切强度是 0.8 ~0.9，分层强度是拉伸强度的 0.5 ~0.6 倍。在测试分层的焊接时，涂层从基体上剥落，使焊接失效。

参考文献

Volkov SS: Ultrasound welding of components made from artificial leather. *Welding International*, 17 (12), p. 999, 2003.

41.5.2 高频焊接

PVC Polyol

柔性 PVC 有低的玻璃化温度，可以与其自身和芳香族聚氨酯以及刚性 PVC 轻易连接。但是，在这项研究的条件下，不能和聚苯乙烯 TPE 或者 TPE 合金进行焊接。位阻、极性、玻璃化转变温度和形态的不同影响材料的焊接，加热老化的影响很小。在测试中，连接断裂的方法对柔性 PVC 十分关键。焊接过程中没有切断的样品比故意切断的样品焊接强度高（见表 41.6）。

表 41.6 柔性 PVC 与自身及其他材料的高频焊接强度①

材料	连接材料	高频焊接时不切穿试样	高频焊接时切穿试样		暴露在 5 ~5.5Mrad 伽马射线后焊缝强度的变化
			没有老化	60℃（140℉）下老化 48h	
透明柔性 PVC 65A	TPE 合金	不粘	不粘		
透明柔性 PVC 65A	苯乙烯类 TPE	不粘	不粘		

（续）

材　料	连接材料	高频焊接时不切穿试样	高频焊接时切穿试样		暴露在5～5.5Mrad伽马射线后焊缝强度的变化
			没有老化	60℃（140℉）下老化48h	
透明柔性PVC 65A	芳香族聚酯型聚氨酯	非常好（31%～50%潜能）	好（16%～30%潜能）	一般（6%～15%潜能）	
透明柔性PVC 65A	含不透射线填充剂的PVC 75A	超好（>50%潜能）	一般（6%～15%潜能）	好（16%～30%潜能）	
透明柔性PVC 65A	透明硬质PVC 80D	一般（6%～15%潜能）	非常好（31%～50%潜能）	非常好（31%～50%潜能）	0%潜能
透明柔性PVC 65A	透明柔性PVC 80A	超好（>50%潜能）	好（16%～30%潜能）	好（16%～30%潜能）	
透明柔性PVC 80A	透明柔性PVC 65A	好（16%～30%潜能）	好（16%～30%潜能）	好（16%～30%潜能）	增加1%的潜能
透明柔性PVC 65A	TPE合金	不粘	不粘		
透明柔性PVC 80A	苯乙烯类TPE	不粘	不粘		
透明柔性PVC 80A	芳香族聚酯型聚氨酯	超好（>50%潜能）	好（16%～30%潜能）	一般（6%～15%潜能）	
透明柔性PVC 80A	含不透射线填充剂的PVC 75A	非常好（31%～50%潜能）	好（16%～30%潜能）	好（16%～30%潜能）	
透明柔性PVC 80A	透明硬质PVC 80D	非常好（31%～50%潜能）	好（16%～30%潜能）	超好（>50%潜能）	增加3%的潜能
透明柔性PVC 80A	透明柔性PVC 80A	超好（>50%潜能）	好（16%～30%潜能）	好（16%～30%潜能）	增加5%的潜能
含不透射线填充剂的PVC 75A	TPE合金	不粘	不粘		
含不透射线填充剂的PVC 75A	苯乙烯类TPE	不粘	不粘		
含不透射线填充剂的PVC 75A	芳香族聚酯型聚氨酯	非常好（31%～50%潜能）	好（16%～30%潜能）	一般（6%～15%潜能）	
含不透射线填充剂的PVC 75A	含不透射线填充剂的PVC 75A	非常好（31%～50%潜能）	好（16%～30%潜能）	好（16%～30%潜能）	

① 每个焊缝单位横截面上的断裂强度由计算得到，然后与较弱材料的拉伸强度相除。这个数乘以100表示的焊缝强度表示强度最大可能值（也称“潜能”）的百分比。

参考文献

Leighton J, Brantley T, Szabo E: RF welding of PVC and other thermoplastic compounds. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

41.5.3 溶剂焊接

PVC Polyol（形状：管件）

这项测试评价了增塑的 PVC 管件和刚性透明热塑性材料（除了聚苯乙烯）的焊接性和相容性，展现出了医疗工业所特有的完整性水平。通过对溶剂或者溶剂混合物的正确选择，材料可以获得持久的焊接强度从而易于装配，不会破裂。测试的材料包括丙烯酸类（PMMA）、对苯二甲酸乙二醇酯（PETG）、苯乙烯丙烯腈（SAN）、刚性聚氯乙烯（PVC）、透明的丙烯腈、丁二烯、苯乙烯聚合物（TABS）、苯乙烯丁二烯嵌段共聚物（SB）、聚碳酸酯（PC）、共聚聚酯/聚碳酸酯（PCTG/PC）、刚性热塑性聚氨酯（RTPU）以及聚苯乙烯（PS）。

参考文献

Haskell A：Bondability/compatibility of plasticized PVC to rigid, transparent thermoplastics. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

Aloha Chemical：PVC 2235L85

图 41.3 给出了 Lexan 1310 聚碳酸酯树脂与柔性 PVC 的焊接实例。作为溶剂，氯甲烷和环己酮混合物可以使 Lexan 和 PVC 获得最高的焊接强度。

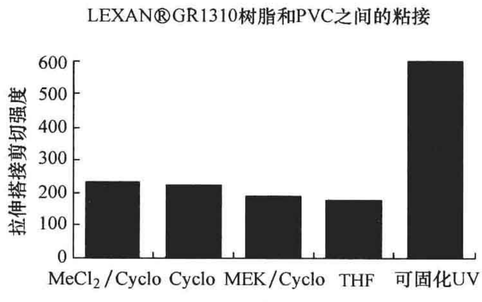


图 41.3 Lexan 1310 粘接到 Alpha Chemical PVC 2235L85 柔性 PVC 上的粘合剂和溶剂粘接强度（$MeCl_2$：二氯甲烷；MEK：甲乙酮；Cyclo：环己酮；THF：四氢呋喃。注意：溶剂组合为 50∶50 比例的溶液）。

图 41.4 给出了 Ultem 1000 聚醚酰亚胺树脂与柔性 PVC 的焊接实例。作为溶剂，环己酮

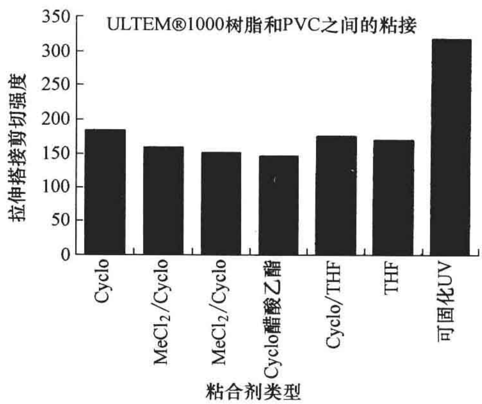


图 41.4 Ultem1000PEI 树脂粘接到 Alpha Chemical PVC 2235L85 柔性 PVC 上的粘合剂和溶剂粘接强度（$MeCl_2$：二氯甲烷；MEK：甲乙酮；Cyclo：环己酮；THF：四氢呋喃。注意：溶剂组合为 50∶50 比例的溶液）。

可以是材料焊接失效前承受最大的负载。

参考文献

Guide to Engineering Thermoplastics for the Medical Industry, Supplier design guide (MED-114), General Electric Company.

41.5.4 粘合剂

Aloha Chemical：PVC 2235L85

紫外固化粘合剂在通用塑料 Lexan 1310 聚碳酸酯树脂和柔性 PVC 之间可以形成很好的焊接强度，在粘接之前会引起 PVC 屈服。紫外固化粘合剂在通用塑料 Ultem1000PEI 和柔性 PVC 之间的焊接强度也很高。然而，如果紫外固化粘合剂应用在 Ultem 树脂上，紫外线将通过焊接材料而不是 Ultem 树脂进行传递。

参考文献

Guide to Engineering Thermoplastics for the Medical Industry, Supplier design guide (MED-114), General Electric Company.

41.6 弹性体合金

41.6.1 概述

DSM：Sarlink 3000

Sarlink 3000 可以通过热焊接与自身或其他非极性聚合物（如聚烯烃）连接。

参考文献

Sarlink Thermoplastic Elastomers, Supplier technical report, DSM Thermoplastic Elastomers.

41.6.2 热工具焊接

EPDM/PP 共混物（特征：交联 EPDM 相）

在这项研究中，热工具焊接温度为 200～240℃（392～464℉），焊接时间为 10～40s，焊接压力为 0.05～0.2MPa（7～29psi）。短期的焊接因子达到 0.86。焊接的最大屈服应变是基体材料值的 69%。

参考文献

Tüchert C, Bonten C, Schmachtenberg E: Welding of a thermoplastic elastomer. ANTEC 2001, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Dallas, May 2001.

埃克森美孚化工：Santoprene

聚四氟乙烯覆盖的滚筒温度需要在 200～260℃（400～500℉）范围内，Santoprene TPV 热焊接的拉伸强度是原始数值的 50%～70%。

参考文献

Welding Santoprene Thermoplastic Vulcanizate, Supplier technical guide (TCD01401), ExxonMobil Chemical, 2001.

41.6.3 超声波焊接

埃克森美孚化工：Santoprene

对 3mm（0.115in）厚的 Santoprene TPV 板进行圆周剪切定位焊，使用的是 1600W 能量

输出和1.5加压机的76mm×25mm（3in×1in）直角焊。焊接时间是2.0s，保持时间是1.5s。0.3MPa（40 psi）的空气压力提供接触压力。

使用6mm（1/4in）的圆柱角，Santoprene TPV101-80和203-40的剪切强度是5.3kN/m。能量通过角进入硬质层。

强烈的能量输入和长时间的接触需要在角距离处给予充足的加热。在接触面加热充足之前，与角接触的Santoprene TPV因过热而分解。而且，一小部分角会侵入Santoprene TPV而造成分解。然而，这是满足角充分靠近接触面而减少对面物质熔化的唯一的方法。

硬质Santoprene TPV超声波焊接应用不多；软质的不推荐采用超声波焊接。硬度为87A和更硬的材料可以采用超声波焊接与聚丙烯很好地焊接在一起。

参考文献

Welding Santoprene Thermoplastic Vulcanizate, Supplier technical guide (TCD01401), ExxonMobil Chemical, 2001.

41.6.4 振动焊接

埃克森美孚化工：Santoprene

Santoprene TPV 201-73不能进行振动焊接，可能是因为低的变形系数不能使焊接保持长时间牢固。焊接区域部件柔软，所以不能产生相对移动。另一方面，Santoprene TPV 203-40焊接很好。圆周定位焊接的拉伸强度是9.0MPa（1300psi）时，焊接失效。

参考文献

Welding Santoprene Thermoplastic Vulcanizate, Supplier technical guide (TCD01401), ExxonMobil Chemical, 2001.

41.6.5 高频焊接

先进弹性体系统公司：EPDM/PP 混合物（特征：交联EPDM相；形状：挤出薄板）

研究催化射频焊接技术以表示一系列TPV焊接性的特性。

结果表明TPV可以用这种方法焊接。TPV材料焊接性和强度与橡胶/塑料的比例有关，决定了焊接塑料相的百分率。

参考文献

Raulie R, Smith D: Radio frequency welding of thermoplastic vulcanizates. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

埃克森美孚化工：Santoprene

Geolast TPV可以使用射频焊接。因为低极性，所以它比极性物质需要更高的能量。Geolast TPV 703-40要求2.0～2.5A电流下进行焊接5～8s。射频焊接应用在Geolast TPV水槽衬垫的焊接中。Geolast TPV和Vyram TPV不能使用射频焊接，这是因为它们的非极性特性。

参考文献

Welding Santoprene Thermoplastic Vulcanizate, Supplier technical guide (TCD01401), ExxonMobil Chemical, 2001.

TPE 合金

Styrenic TPE和任何TPE合金都不能获得实用的射频焊接。这主要是由于Styrenic TPE的位阻效应。

参考文献

Leighton J, Brantley T, Szabo E: RF welding of PVC and other thermoplastic compounds. ANTEC 1992, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Detroit, May 1992.

41.6.6　热气体焊接

埃克森美孚化工：Santoprene

低速焊接温度在200～260℃（400～500℉）下将表面熔化。在实验室研究中，空气和氮气的效果是相同的。

参考文献

Welding Santoprene Thermoplastic Vulcanizate, Supplier technical guide (TCD01401), ExxonMobil Chemical, 2001.

41.6.7　感应焊接

埃克森美孚化工：Santoprene

EMA粘接：用2kW发电机可以在两秒内对Santoprene TPV 201-73和聚丙烯基EMA进行板焊接或者圆周剪切焊接。Santoprene TPV焊接在2.6～4.0kW/N时是不均匀的、容易撕裂的。撕裂Santoprene TPV基体时焊接失效。圆周剪切强度高于3.4MPa（500psi）。

Hellerbond：Santoprene TPV和铁氧体填充的Santoprene TPV或者聚丙烯在1.5s内焊接的橡胶撕裂强度是5.3～14.0kN/m。Hellerbond更加适合于Santoprene TPV焊接。

参考文献

Welding Santoprene Thermoplastic Vulcanizate, Supplier technical guide (TCD01401), ExxonMobil Chemical, 2001.

41.6.8　粘合剂粘接

埃克森美孚化工：Santoprene

现在的工作表明，先经过标准的电或热预处理可以提高Santoprene TPV（硬度35A到50D）的表面能量。目标是形成较小的表面能量40mN/m，可以通过仔细控制预处理仪器的工作因素来实现。必须注意到，预处理过程的因素要适合初始系统的粘接，从而能达到要求的胶粘水平。

用氰基丙烯酸盐粘合剂进行粘接：用氰基丙烯酸盐粘合剂作为装配粘合剂可以得到很强的刚性剪切粘接。然而，粘合剂层容易在弯曲、振动或者潮湿的情况下失效。乐泰出售聚烯烃原始物，如乐泰770，适合于和Santoprene TPV一起使用。

必须避免原始物的烘干，这是因为原始物的非氯化聚丙烯的化学性。将氰基丙烯酸盐粘合剂涂在基体上，不要涂在原始物涂盖的Santoprene TPV表面。粘接部分在充足的压力下需要的粘接时间很短，达到最强的焊接强度需要24h。

双胶带的粘接：双胶带的粘接是非常简单和干净的。好的剪切强度取决于胶带的选择，从而可以获得合适的剥落强度。在所有的案例中，必须对Santoprene TPV进行涂层，可以选择对原始物的烘干。如果进行烘干，应该在板还热的时候对Santoprene TPV表面进行层压。

建议的化合物是Chemosil X8532（Henkel）或Thixon（Rohm和Hass）与3M的胶带的混合原始物，或者来自Avery-Dennison的5361、4205或Fastape 2493。

和环氧树脂粘接：没有 Santoprene TPV 特殊原始物可用。用于涂层 Santoprene TPV 的原始物可以被改良，以给予环氧树脂良好的粘合性。这可以通过在原始物中加入质量分数为1%的环氧硬化剂得到，假设产品是相容的。

高度推荐原始物的烘干以使连接强度最大。热的 Santoprene TPV 表面可以直接用环氧树脂粘接在其他基体上。增加的温度减少了完全粘接固化的时间。推荐在恒定的压力下保持装配，直到环氧粘合剂充分反应。这个过程也可以在升高的温度下进行，以避免多余的烘干步骤。

一种 Henkel 产品——Metallon 2108，它是柔性 Santoprene TPV 表面的一种性能良好的环氧粘合剂。

热熔焊接：需要一种处理剂原始物以获得热熔体和 Santoprene TPV 表面之间的连接。Henkel 处理剂 Chemosil X8533 或 Rohm 和 Haas Thixon X9279 可以用于在 Santoprene TPV 的表面进行涂层。在典型的热熔温度 180℃（356℉）下，可以选择热熔焊接处理剂的烘干。从热熔到涂在 Santoprene TPV 的处理剂的烘干都需要充足的加热能量。热熔焊接的最大缺点是软化点低，这降低了最大焊接温度是 70℃（158℉）时对 Santoprene TPV 的实用性。

与聚氨酯（PU）或者丙烯酸溶剂的焊接：PU 胶粘为 Santoprene TPV 的焊接提供了足够的焊接强度，处理剂需要经过烘干。合适的处理剂有 Chemosil X8533 或 Rohm 和 Hass Thixon X9279。涂层处理剂的焊接强度取决于 PU 粘合剂与其兼容程度。

橡胶溶剂的粘合剂：基于典型的天然橡胶、氯丁橡胶、丁腈橡胶的橡胶溶液的粘合剂不会粘接到 Santoprene TPV 上，而不使用合适的处理剂。推荐的处理剂是 Chemosil X8533 或 Rohm 和 Hass Thixon X9279。强制烘干以获得强的接头。

参考文献

Assembly Bonding of Santoprene Thermoplastic Vulcanizate, Supplier technical guide (TCD00901), ExxonMobil Chemical, 2001.

DSM：Sarlink 3000

聚合物材料的粘接受材料极性和相容性的影响。高极性物质比低极性物质连接得更好。与 Sarlink 3000 有很好的粘接性能，特别是在高温下与这个溶剂基系统的粘接性更好。

参考文献

Sarlink Thermoplastic Elastomers, Supplier technical report, DSM Thermoplastic Elastomers.

第 42 章　热固性材料

42.1　己二烯酞酸酯聚合物

42.1.1　粘合剂粘接

Rogers：DAP

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm（0.03in），横向速度为 0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪 4000 来确定表面粗糙度。

虽然表 42.1 中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表 42.1 中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表 42.1　采用乐泰公司的粘合剂对 DAP 与 DAP 进行粘接的剪切强度　［单位：MPa（psi）］

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
RX3-1-525F 级短纤维增强，阻燃，黑色，18rms	>13.5① （>1950①）	>21.7① （>3150①）	1.0 （150）	>18.6① （>2700①）	2.4 （350）	2.4 （350）
RX3-1-525F 级，粗加工 28rms	>13.5① （>1950①）	>21.7① （>3150①）	2.1 （300）	>18.6① （>2700①）	9.7 （1400）	2.4 （350）
RX1310 级短纤维增强，绿色，16rms	>11.7① （>1700①）	>16.2① （>2350①）	1.0 （150）	>20.7① （>3000①）	4.5 （650）	3.1 （450）
RX1310 级，粗加工 27rms	>11.7① （>1700①）	>16.2① （>2350①）	3.8 （550）	>20.7① （>3000①）	14.8 （2150）	10.0 （1450）

（续）

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
RX1-510N 矿物质填充，蓝色，14rms	>11.7①（>1700①）	>20.0①（>2900①）	0.7（100）	>19.0①（>2750①）	3.5（500）	2.1（300）
RX1-510N 级，粗加工 24rms	>17.6①（>2550①）	>20.0①（>2900①）	7.2（1050）	>19.0①（>2750①）	15.9（2300）	11.7（1700）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。
① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：Prism 401、Pris 4011、Super Bonder 414、Black Max 380 瞬间粘合剂以及 Flashcure 4305 光固化粘合剂 5 种丙烯酸酯的粘合力比 DAP 评估的三个等级高。其他评估的大部分粘合剂表现出的粘接强度在 DAP 评估中是优秀的。DAP 评估中的三个等级的粘结性并没有很大的统计学差异。

表面处理：将 Prism Primer 770 与 Prism 401 瞬时粘合剂结合使用，或者将 Prism 4011 医用装置瞬时粘合剂和 Primer 770 结合使用时，在 DAP 上粘接强度极大地降低了。使用 Depend 330 和乐泰 3105 以及 3311 光固化粘合剂时，表面粗糙度高会极大地提高粘接强度。表面粗糙度对氰基丙烯酸盐粘合剂的粘接强度的影响并不清楚，因为对其进行粗糙和不粗糙 DAP 测试时都会产生基体失效。

其他信息：烯丙基酯与所有的乐泰粘合剂、密封剂、底漆和活化剂都相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

42.2 环氧树脂

42.2.1 粘合剂粘接

环氧树脂

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切

试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表42.2中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表42.2中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表42.2 采用乐泰公司的粘合剂对环氧树脂之间进行粘接的剪切强度 [单位：MPa（psi）]

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
Westinghouse G-10 Epoxyglass 21 rms	22.1 (3200)	23.1 (3350)	250 (1.7)	24.8 (3600)	6.9 (1000)	10.3 (1500)
Westinghouse G-10，粗加工 33rms	22.1 (3200)	14.8 (2150)	10.3 (1500)	12.4 (1800)	11.7 (1700)	10.3 (1500)
乐泰 Fixmaster Poxy Pak 92rms	14.5 (2100)	>22.1① (>3200①)	19.7 (2850)	18.3 (2650)	6.9 (1000)	10.7 (1550)
乐泰 Fixmaster Poxy Pak，粗加工 167rms	25.9 (3750)	>22.1① (>3200①)	>18.3① (>2650①)	>25.9① (>3750①)	>11.0① (>1600①)	10.7 (1550)
乐泰 Fixmaster 快速固化环氧树脂 116rms	11.0 (1600)	10.3 (1500)	14.5 (2100)	19.0 (2750)	9.3 (1350)	8.6 (1250)
乐泰 Fixmaster 快速固化环氧树脂，粗加工 134rms	>12.8① (>1850①)	>13.1① (>1900①)	>11.7① (>1700①)	>13.1① (>1900①)	>8.3① (>1200①)	14.1 (2050)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘合剂性能：Flashcure 4305 光固粘合剂和 Hysol E-30CL 环氧树脂粘合剂的粘接强度都要比环氧树脂测试的等级要高。其他测试的氰基丙烯酸盐粘合剂（Black Mix 380，Prism 401 和 Super Bonder 414）的粘接强度达到了环氧树脂测试的最高等级。

表面处理：表面粗糙化通常要么没影响要么就会使粘接强度极大地提高。将 Prism Primer 770 和 Prism 401 瞬干胶结合使用，或者将 Prism 4011 医用装置瞬干胶和 Prism Primer 7701结合使用，会导致大多数环氧树脂粘接强度的降低。

其他信息：环氧树脂与乐泰粘合剂、密封剂、原始物和催化剂有很好的相容性。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

42.3 酚醛树脂

42.3.1 粘合剂粘接

Occidental：Durez

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm（0.03in），横向速度为 0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪 4000 来确定表面粗糙度。

虽然表 42.3 中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表 42.2 中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表42.3　采用乐泰公司的粘合剂对Durez酚醛树脂与酚醛树脂进行粘接的剪切强度

[单位：MPa (psi)]

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
通用级25000118纤维素、木粉、硬脂酸锌和硬脂酸钙填充的，黑色	11.0 (1600)	4.1 (600)	1.0 (150)	2.8 (400)	6.2 (900)	7.6 (1100)
25000118，粗加工	11.0 (1600)	4.1 (600)	1.0 (150)	2.8 (400)	6.2 (900)	10.0 (1450)
玻璃纤维增强的32245通用级混合物中又添加矿物质填充剂	10.3 (1500)	3.1 (450)	1.0 (150)	1.7 (250)	5.9 (850)	4.1 (600)
耐热级152118通用级混合物中又添加矿物质填充剂	>12.1① (>1750①)	12.4 (1800)	0.7 (100)	12.4 (1800)	3.5 (500)	8.6 (1250)
导电级156122通用级混合物中又添加矿物质填充剂	>11.4① (>1650①)	2.8 (400)	1.0 (150)	2.8 (400)	4.1 (600)	7.2 (1050)
Plenco 04300塑料工程公司添加了矿物质填充剂和耐热剂	>13.1① (>1900①)	>12.1① (>1750①)	0.3 (50)	>15.9① (>2300①)	>12.4① (>1800①)	5.2 (750)

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘接性能：Hysol E-30CL环氧树脂粘合剂和固化高性能环氧树脂可以获得比未填充改性的酚醛树脂更高的焊接性。Black Max 380瞬干胶，Flashcure 3105和4305光固化粘合剂，Speedbonder H3000结构粘合剂，乐泰3030粘合剂，Hysol E-00CL、E-90FL和E-20HP环氧树脂粘合剂，以及Hysol 3631热熔粘合剂都可以获得高的焊接强度，超过基质失效时的强度。Super Bonder 414瞬干胶、Depend 330粘合剂、Speedbonder H4500结构粘合剂、Hysol E-214HP环氧树脂粘合剂以及Hysol U-05FL氨基甲酸乙酯粘合剂的焊接强度较低，但是仍

可获得很好的焊接强度。

表面处理：将 Prism Primer 770 和 Prism 401 瞬干胶结合使用，或者将 Prism 4011 医用装置瞬干胶和 Prism Primer 7701 结合使用，会使各种酚醛树脂的焊接强度明显降低。使用乐泰 3105 和 3311 光固化粘合剂进行酚醛树脂的焊接时，表面粗糙度的增加会使焊接强度显著增加，但是用其他粘合剂时却没有任何显著影响。

其他性能：酚醛树脂与所有的乐泰粘合剂、密封剂、原始物和催化剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

42.4 聚酯

42.4.1 粘合剂粘接

热固性聚酯

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成 25.4mm × 25.4mm × 3.175mm（1in × 1in × 0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用 3M 重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为 0.76mm（0.03in），横向速度为 0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪 4000 来确定表面粗糙度。

虽然表 42.4 中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表 42.4 中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表 42.4 采用乐泰公司的粘合剂对热固性聚酯之间进行粘接的剪切强度

[单位：MPa（psi）]

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
C-685 黑 183 20% ~ 30% 玻璃纤维矿物质填充剂，15rms	>9.3① (>1350①)	>9.3① (>1350①)	2.4 (350)	>13.1① (>1900①)	4.8 (700)	4.1 (600)

（续）

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰 3105（光固化粘合剂）
C-685，粗加工33rms，美国氨基氰的Cyglas courtesy	>6.2①（>900①）	8.3（1200）	4.5（650）	5.5（800）	4.8（700）	11.3（1650）
Dielectrite 48-53-E courtesy of Industrial Dielectrics	>9.7①（>1400①）	>9.7①（>1400①）	>4.1①（>600①）	>9.0①（>1300①）	3.1（450）	7.6（1150）
Dielectrite 44-10 未指定的玻璃纤维填充剂，courtesy of Industrial Dielectrics	>10.0①（>1450①）	>9.0①（>1300①）	2.4（350）	>9.3①（>1350①）	4.5（650）	7.9（1150）
Dielectrite 46-16-26 未指定的玻璃纤维填充剂，courtesy of Industrial Dielectrics	>14.5①（>2100①）	>14.1①（>2050①）	3.1（450）	>13.5①（>1950①）	4.1（600）	6.9（1000）
Dielectrite 46-3 未指定的玻璃纤维填充剂，courtesy of Industrial Dielectrics	>11.0①（>1600①）	>10.7①（>1550①）	1.7（250）	>8.6①（>1250①）	4.8（700）	4.5（650）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。
① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘接性能：Prism 401、Super Bonder 414、氰基丙烯酸盐粘合剂、Black Max 380（一种橡胶增韧氰基丙烯酸盐粘合剂）、Flashcure 4305 光固化粘合剂、Hysol E-20HP 环氧粘合剂以及 Fixmaster 高性能环氧粘合剂都可以在热固性聚酯上获得最高的连接强度，可以与基体失效时的强度媲美。过量的热熔粘合剂、3340 光固化粘合剂以及其他的粘合剂在未填充的热

固性聚酯的焊接上可以获得很高的焊接强度。

表面处理：将 Prism Primer 770 和 Prism 401 瞬干胶结合使用，或者将 Prism 4011 医用装置瞬干胶和 Prism Primer 7701 结合使用，会使各种热固性聚酯的焊接强度明显降低。使用丙烯酸粘合剂时，表面粗糙度增加要么没有效果要么会引起焊接强度的显著增加。使用氰基丙烯酸盐粘合剂时，表面粗糙度的增加会引起焊接强度的显著增加。

其他性能：热固性聚酯与所有的乐泰粘合剂、密封剂、原始物和催化剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006.

42.5 聚酰亚胺

42.5.1 概述

Rhone Poulenc：Kinel

Kinel 不能进行焊接，因为它们是热固性塑料。

参考文献

Kinel Polyimide Compounds—Part Design, *Processing*, Supplier design guide (ST/AN/0187/008), Rhone Poulenc.

42.5.2 粘合剂粘接

Rhone Poulenc：Kinel

Kinel 的论文中使用的主要是以下几种粘合剂，其中大部分是环氧树脂。这些例子作为参考，应该按照应用确定使用的最高温度：

粘合剂	使用温度
乐泰 620	240℃ (464℉)
乐泰 648	175℃ (347℉)
Eccobond 104 (爱默生 & 卡明斯)	290℃ (554℉)
Eccobond 45h 和催化剂 15	190℃ (374℉)

参考文献

Kinel Polyimide Compounds—Part Design, *Processing*, Supplier design guide (ST/AN/0187/008), Rhone Poulenc.

42.5.3 机械连接

Rhone Poulenc：Kinel

螺纹的螺棱不能太细——螺距 (P) ≥1mm (0.04in)；它们要制作成带有 2.5 ~ 4mm (0.10 ~ 0.16in) 节距的锥形 (S1) 或者圆形。螺棱要从边缘的底部开始，到在基体以上 $P/2$ 的位置处结束。

金属嵌件连接 Kinel 5514-5504、3515 和 4525 是没有问题的。可以在模塑（自攻螺纹）之后压入或者模塑进去，后者更好些。

举例：直径是 35mm（1.4in）的有凸边的钢插件：

加工工艺	拔出扭矩
模内成型	>500Nm
0.2mm（0.008in）压制在直径上	300～500Nm
0.3～0.5mm（0.01～0.02in）压制在直径上	500Nm

自攻螺纹插件必须有足够的强度以承受其在插入很硬的 Kinel 时的扭曲。不能使用黄铜和轻金属，钢比较好。

举例：对于直径是 4.75mm（0.19in）的自攻螺纹螺钉（螺纹根径是 3.3mm（0.13in））来说，必须先钻一个大约 4.4mm（0.17in）的孔，否则塑料将碎裂。

模内嵌件可以通过以下方法固定在塑料内：

- 对角线滚压。
- 纵长滚压以及六角或者方形纹理。
- 边缘圆周的放射的孔。

嵌件必须有圆柱形的肩状物来在模具上固定它们并承担塑料流体的压力。

铆接：可以使用铆接法，但是铆接条件必须适合于所用的 Kinel 配方。

参考文献

Kinel Polyimide Compounds—Part Design, *Processing*, Supplier design guide (ST/AN/0187/008), Rhone Poulenc.

42.6　聚氨酯

42.6.1　粘合剂

Rimnetics：Rimnetics

对于连接 RIM 聚氨酯部件来说，环氧或者氰基丙烯酸盐粘合剂表现得很好。搭接接头的连接区域应该是壁厚的 3 倍。

参考文献

Rimnetics Part Design Guide—Polyurethane Products, Supplier design guide, Rimnetics, Inc., 2007.

Recticel：Colo-Fsat LM 161（化学类型：脂肪族聚氨酯；特征：低模量弹性体）

商用 Colo-Fsat LM 161 的粘接促进剂对玻璃的粘接性能很好（见表 42.5）。180°剥落强度是 111N（25lbf），高于汽车规定的要求。粘合剂的使用温度范围很广，加热或者潮湿的条件下使用的时间也较长。

表 42.5　有老化和无老化的 Colo-Fsat LM 161 聚氨酯反应注射系统与玻璃的粘合剂

粘合剂促进剂	老化条件	玻璃[①]	玻璃熔料[①]
Lord（Chemlok AP-134）	无	29.2（130）	25.7（114）
Essex（双组分）	无	29.5（131）	32.9（146）

（续）

粘合剂促进剂	老化条件	玻璃[①]	玻璃熔料[①]
Lord（Chemlok AP-134）	88℃（190℉）下1000h	25.7（114）	27.2（123）
	38℃（100℉）和100%相对湿度下1000h	28.9（129）	29.1（129）
	32℃（90℉）时水浸入1000h	25.1（112）	22.9（102）

① 180°剥离值，单位N（lbf）。

参考文献

Carver TG, Kubizne PJ, Huys D: Reaction injection molded modular window gaskets using light stable aliphatic polyurethane. Polyurethanes: Exploring New Horizons. Proceedings of the SPI 30th annual technical/marketing conference, Conference proceedings, Society of the Plastics Industry, Toronto, Canada, October 1986.

42.7 硅树脂

42.7.1 粘合剂

PDMS

聚二甲硅氧烷（PDMS）的紫外线/臭氧预处理对它与乐泰3105 UV固化粘合剂的粘接性能的影响可以使用X射线光谱来估计。

估计PDMS和粘合剂之间的粘接性被证明是最困难的步骤。发现通过使用紫外线对PDMS表面进行预处理，粘接性能明显增加。这个结论可以从XPS数据得出，脱层的PDMS与粘合剂的化学性能类似，因为当经过基体预处理时，脱层粘着于粘合剂中，而不在界面。只要几分钟的预处理时间就可以获得增高的粘接性，但是这通常需要精确地控制预处理和结合时间。较长的预处理时间，例如18min，允许固化时间比较长以获得高的胶粘强度。

参考文献

Miller P, Gengenbach T, Sbarski I, Spurling T: XPS analysis of UV curable adhesive and its adhesion to PDMS. ANTEC 2005, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Boston, May 2005.

硅树脂

硅树脂可以用氰基丙烯酸盐粘合剂或者Permabond POP处理剂进行焊接。

参考文献

The Engineers Guide to Adhesives, Supplier design guide, Permabond Engineering Adhesives.

42.8 乙烯酯

42.8.1 粘合剂粘接

乙烯酯

这个研究确定了典型的塑料基体的连接强度和最适合它们的粘合剂。一般使用块状剪切试验（ASTM D4501）进行测试，因为它将负载作用在样品较厚的部分，因此样品在基体失效之前能承受更高的负载。另外，由于测试样品的几何形状以及块状剪切设备的影响，连接的剥离力和开裂力被最小化。

将基体切成25.4mm×25.4mm×3.175mm（1in×1in×0.125in）的块状剪切试样。用异丙醇清洗所有粘合表面。用3M重型剥离片手工清理试验样本。使用横向距离为0.76mm（0.03in），横向速度为0.25mm/s（0.1in/s）的表面分析仪4000来确定表面粗糙度。

虽然表42.6中的粘合强度很好地揭示了所能达到的典型粘合强度和多种填料及添加剂的影响，但仍存在一些局限性。例如，人们通常认为它们代表了最通用的添加剂和填料，因而选择它们，但其实许多不同公司生产的每种添加剂和填料的类型都有很多，并且相同添加剂或填料的不同类型可能会对一种材料的粘合性产生不同影响。此外，在表42.6中的添加剂和填料都是单独进行测试的，因此，便无法估计这些不同填料和添加剂相互作用对于材料粘合性的影响。

表42.6 采用乐泰公司的粘合剂对Derakane乙烯酯与乙烯酯进行粘接的剪切强度

[单位：MPa（psi）]

材料组成	乐泰粘合剂					
	Black Max 380（瞬间粘合剂，橡胶增韧）	Prism 401（瞬间粘合剂，表面钝化）	Prism 401/Prism Primer 770	Super Bonder 414（瞬间粘合剂，通用）	Depend 330（双组分，非混合型丙烯酸）	乐泰3105（光固化粘合剂）
Derakane 411-45 带有C-遮蔽物的乙烯酯，15rms	6.6（950）	13.1（1900）	5.5（800）	13.5（1950）	2.8（400）	13.5（1950）
411-45，粗加工 带有C-遮蔽物的乙烯酯，27rms	13.5（1950）	13.1（1900）	5.5（800）	13.5（1950）	6.9（1000）	13.5（1950）
Derakane 470-36 带有C-遮蔽物，高温/耐腐蚀级	3.8（550）	>15.2[①]（>2200[①]）	4.5（650）	>16.9[①]（>2450[①]）	2.4（350）	10.3（1500）

注：所有测试均按块剪切试验方法（ASTM D4501）完成。

① 试样中所用的力超出了材料的强度，导致在达到粘合剂所决定的真实粘合强度之前就发生基底失效。

当使用该数据去选择一种粘合剂/塑料的结合时，必须记住的另外一种考虑因素是，块状剪切试验方法如何能很好地反映胶接接头在“真实世界”应用时的应力。设计胶接接头使拉伸应力和压应力最大，并使剥离应力和分裂应力最小，所以前两者的数量级通常远大于后两者。因此，粘合剂的剪切强度通常对胶接接头性能非常重要，但是由于所有的接头都经受一些剥离应力和分裂应力，不应忽略这些应力的影响。

最后对给定的应用选择最好的粘合剂，不仅仅是选择可以提供最高粘合强度的粘合剂就行的。在给定的应用中，其他一些因素如固化速度、环境耐性、热阻、自动化的适用性和价格等，将在决定最佳粘合系统时发挥巨大作用。

粘接性能：Flashcure 4305光固化粘合剂，Hysol E-90FL、E-30CL、E-20HP环氧树脂粘合剂，Hysol U-05FL聚氨酯粘合剂，Hysol 3631热熔粘合剂以及Fixmaster高性能环氧树脂粘合剂比乙烯酯粘合剂获得的焊接强度更高。乙烯酯的焊接性很好，但是Hysol 3651、7804、1942热熔粘合剂以及5900边缘密封剂除外。

表面处理：使用乙烯酯粘合剂时，表面粗糙度的增加或者对其焊接强度没有影响，或者

显著增加其焊接性。将 Prism Primer 770 和 Prism 401 瞬干胶结合使用，或者将医用装置瞬干胶和 Prism Primer 7701 结合使用，会使焊接强度降低。

其他性能：乙烯酯与乐泰粘合剂、密封剂、原始物和促进剂相容。推荐的表面清洁剂包括异丙醇、不含 ODC 的乐泰清洁剂和脱脂剂。

参考文献

The Loctite Design Guide for Bonding Plastics, *Vol. 4*, Supplier design guide, Loctite Corporation, 2006. Reference: *Kinel Polyimide Compounds—Part Design*, *Processing*, Supplier design guide (ST/AN/0187/008), Rhone Poulenc.

第43章 橡　　胶

43.1 乙丙橡胶

43.1.1 热气体焊接

ICI：三元乙丙橡胶

此次研究的结果表明，橡胶不能得到令人满意的焊接。使用热气体焊接时，当焊缝冷却时出现的收缩不能靠周围材料在焊缝上保持的压力来抵抗，情况不同于其他塑料焊接技术。因此，接头处的缩孔和不完全融合物都可能出现。其结果是，焊接片材具有低延展性和降低的强度，如果优化焊接条件，强度降低不是很大。

乙烯丙烯二烯的最佳焊接气体温度是330℃（626℉）。焊枪的移动速度和施加的压力取决于操作者，操作者持续调节这些参数以获得一个外观令人满意的焊接。焊接的外观是其质量的一个标志，轮廓的光滑度和清洗的难易度是一些值得注意的特征。使用单边V形对接得到焊缝强度和原材料强度的比是0.78，而用双V对接得到的比是0.67。

参考文献

Turner BE, Atkinson JR: Repairability of plastic automobile bumpers by hot gas welding. ANTEC 1989, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, New York, May 1989.

43.1.2 激光焊接

三元乙丙橡胶（特征：黑色，3.17mm（0.125in）厚的饰板）

轮廓激光焊接可以在使用波长为940nm的二极管时将三元乙丙橡胶焊接到含有玻璃纤维填料的聚丙烯上。光束的面积为11mm^2（0.017in^2），激光能量在60～150W范围内变化，扫描速度在400～2500mm/min（1.3～8.2 ft/min）范围内变化，给予的线能量是3.5～22.5J/mm。剪切搭接拉伸试样是由作为传输部分的聚丙烯和作为吸收部分的三元乙丙橡胶构成的。夹持压强（夹持力除以重叠面积）在0.5～4.0MPa（73～580psi）范围内变化。

当线能量（激光能量除以焊接速度）超过6J/mm时，取代了一个单个均一的焊缝，一个薄弱的表面在轨道上（被激光束照明的区域）形成，同时在边缘地带产生很坚固的边。线能量为6.25J/mm或更高时，可看到所有焊接样品表面出现一些破坏。线能量为6J/mm或更低时仅仅发生激光传过三元乙丙橡胶造成的失效。

参考文献

Xu XQ, Huang YP, Watt D, Baylis B: Diode laser welding of EPDM based elastomers. ANTEC 2003, Conference proceedings, Society of Plastics Engineers, Nashville, May 2003.

43.2 氟橡胶

43.2.1 粘合剂粘接

DuPont 公司：Viton（注意：混合物）

使用基于 Viton 氟橡胶的特殊粘合方法，可以将 Viton 氟橡胶和很多种金属进行粘接。失效不会发生装配连接处。在 75℉（24℃）的温度下和 204℃（400℉）的温度下，粘合剂的强度超过了硫化的氟橡胶的剪切强度。粘合剂同样能承受 260℃（500℉）的加热老化。表 43.1 列举了典型氟橡胶与常见金属之间的剥离粘合值。

表 43.1 典型 Viton 氟橡胶与常见金属之间的剥离粘合值①

金　属	在 75℉（24℃）下测得的原始值	在 500℉（260℃）下老化 64h，75℉（24℃）下的测量值	在 500℉（260℃）下老化 64h，400℉（204℃）下的测量值
铝	160（28.6）	20（3.6）	6（1.1）
黄铜	160（28.6）	20（3.6）	6（1.1）
钢	160（28.6）	20（3.6）	6（1.1）

① 180°剥离粘合剂，单位是 lb/in（kg/cm）。所有的失效都是由试样撕裂引起的。

参考文献

The Engineering Properties of Viton Fluoroelastomer, Supplier design guide (E-46315-1), DuPont Company, 1987.

43.3 聚氨酯

43.3.1 超声波焊接

聚氨酯（特征：5.8mm（0.23in）厚）

当处在超声波能量下时，热固性聚氨酯将会被降解。

参考文献

Ultrasonic Sealing and Slitting of Synthetic Fabrics, Supplier technical report, Sonic & Materials, Inc.

43.4 橡胶合金

43.4.1 粘合剂粘接

杜邦陶氏弹性体：Advanta 3320（特征：可过氧化物交联得）；**Advanta 3650**（特征：可过氧化物交联的）

高质量的连接零件（金属和塑料基体）可以很容易地由 Advanta 聚乙烯共聚物/氟橡胶合金进行生产，粘合剂采用推荐的氟橡胶弹性体。特殊推荐信息见表 43.2。

表 43.2 Lord 公司推荐提供的 Advanta 粘合剂

配 方	Advanta 3320	Advanta 3650
粘合剂产品	Chemlok 607	Chemlok 610
	Chemlok 610	Chemlok 5150
	EP6964-07	Chemlok 5151
		EP6964-07

参考文献

Product Information—3320 and 3650, Supplier technical report (H-59831-1), DuPont Dow Elastomers, 1994.

附　　录

词　汇　表

A

ABS

见 acrylonitrile-butadiene-styrene polymer（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯聚合物）。

ABS nylon alloy（ABS 尼龙合金）

ABS 和适合注射成型的尼龙形成的热塑性塑料合金。有与 ABS 相似的特性，但在屈服时有相当高的伸长率。

ABS polycarbonate alloy（ABS 聚碳酸酯合金）

ABS 和适合注射成型和挤出的聚碳酸酯形成的热塑性塑料合金。有与 ABS 相似的特性。用于汽车工业。

ABS polyurethane alloy（ABS 聚氨酯合金）

ABS 和聚氨酯的热塑性合金。

absolutely density（绝对密度）

见 density（密度）。

absolutely gravity（绝对比重）

见 density（密度）。

accelerator（促进剂）

一种化学物质，能够促进化学、光化学、生物化学等反应或进程，例如聚合物被其他物质触发和/或持续反应交联或降解，例如固化剂或催化剂或环境因素，如加热、辐射或微生物作用。也称为激活剂、助剂、推动剂。

acetal（缩醛）

见 acetal resin（缩醛树脂）。

acetal resin（缩醛树脂）

由甲醛或其三聚体三聚甲醛均聚，或通过三聚甲醛与环氧乙烷等其他单体共聚制备形成的热塑性塑料。缩醛树脂具有高的抗冲击强度、疲劳强度、刚度和屈服应力，低的摩擦系数、气体和蒸汽的渗透性，良好的尺寸稳定性和介电性能，并在高温下具有良好的保持性能。均聚物与共聚物相比具有较高的热变形温度和较低的连续使用温度。所有的缩醛耐酸性都不好，均聚物抗碱性也不强。缩醛易受到紫外线照射降解，易燃，而且难以粘合。通过注射、吹塑和挤出对其进行加工处理。缩醛树脂用于机械零件如齿轮和轴承，汽车零部件如窗口曲柄和装饰紧固件，器械，水泵外壳，淋浴喷头，以及其他水管装置，还有电子方面如连接器等。也称为缩醛、聚甲醛。

acetone（丙酮）

一种无色易挥发易燃液体，分子式为 CH_3COCH_3，丙酮的自燃温度为 537℃（999℉），易与水和一些其他溶剂混溶，有一定的毒性，能溶解大多数热塑性塑料和一些热固性物质。用作有机合成中间体（如在

双酚 A 和抗氧化剂的制备中），油漆和醋酸纤维纺丝的溶剂以及电子零件的清洗剂。又称为二甲基酮。

acetylene dichloride（二氯乙炔）

见 dichloroethylene 1，2（二氯乙烯 1，2）。

acrylate resin（丙烯酸盐树脂）

见 acrylic resin（丙烯酸树脂）。

acrylate-styrene-acrylonitrile polymer（丙烯酸-苯乙烯-丙烯腈聚合物）

丙烯酸橡胶改性热塑性塑料具有高耐候性（例如保色性、光泽、冲击和拉伸性能）。该材料提供高度的表面光泽，良好的耐热性、耐化学性、韧性、刚性以及抗静电性能。它和其他高分子材料如聚氯乙烯和聚碳酸酯一样，可以通过共挤出、热压成型、注射成型、结构发泡成型、挤出吹塑成型等方法加工处理。要干燥，因为这种材料具有轻度吸湿性。当需要一个良好的耐候性的能力（如商业壁板、汽车外部装饰、户外家具）时，将其用于建筑、休闲、娱乐和汽车应用。又称为丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸聚合物、ASA。

acrylate-styrene-acrylonitrile polymer polyvinyl chloride alloy（丙烯酸-苯乙烯-丙烯腈聚合物聚氯乙烯合金）

由丙烯酸-苯乙烯-丙烯腈聚合物与聚氯乙烯形成的热塑性合金。

Acrylic epoxy resin（丙烯酸环氧树脂）

见 vinyl ester resin（乙烯基树脂）。

Acrylic ethylene rubber（乙烯丙烯酸橡胶）

见 ethylene acrylic rubber（乙烯丙烯酸橡胶）。

acrylic resin（丙烯酸树脂）

由烷基（甲基）丙烯酸酯均聚物和共聚物组成的一类热塑性塑料。最常见的单体使用的是甲基和乙基（甲基）丙烯酸酯，共聚用的单体包括其他不饱和单体。丙烯酸树脂具有杰出的表面硬度，良好的光学透明度、耐候性、耐光性、耐化学性、刚性、抗冲击强度，优良的尺寸稳定性，以及低模压收缩率。丙烯酸树脂的耐溶剂性差，承受应力开裂，易燃，并具有较低的弹性和热稳定性。丙烯酸树脂可浇铸成板、棒或管型材料；成片或成型材挤出、注射、热成型和涂层；应用于透明件、灯具、印制电路板、涂料以及医疗设备。也称为丙烯酸树脂、聚丙烯酸酯。

acrylic resin polyvinyl chloride alloy 丙烯酸树脂聚氯乙烯合金

丙烯酸树脂和聚氯乙烯热塑性合金。

acrylic styrene acrylonitrile polymer（丙烯酸苯乙烯丙烯腈聚合物）

见 acrylate-styrene-acrylonitrile polymer（丙烯酸-苯乙烯-丙烯腈聚合物）。

acrylonitrile butadiene rubber（丙烯腈丁腈橡胶）

见 nitrile rubber（丁腈橡胶）。

acrylonitrile-butadiene-styrene polymer（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯聚合物）

由苯乙烯丙烯腈共聚物（SAN）和 SAN 接枝的聚丁橡胶混合物组成的热塑性塑料。它们具有较高的抗冲击性、韧性、硬度和可加工性，较低的介电强度、连续使用温度和伸长率。户外使用要求对金属提供优异的粘接性能。通过挤压、吹塑、热成型、压延、注射成型来加工。应用于家用电器、工具、非食品包装、商业机械、汽车内饰件、挤出板材管材和管件。也称为 ABS。

acrylonitrile copolymer（丙烯腈共聚物）——由丙烯腈与其他少量不饱和单体共聚制备的热塑性塑料。丙烯腈共聚物包括 ASA、ABS、SAN 和腈树脂。从狭义上讲，丙烯腈共聚物一词经常被用来表明（高）腈（阻隔）树脂。当有橡胶改性和导向时，这些树脂具有良好的阻隔性、耐化学性以及异味保留属性。这些树脂具有适度的高拉伸强度和抗冲击性能，通过挤压、注射成型和热塑等方式来加工，大多数应用在食物和非食物的包装上。美国 FDA 通过附加一些限制批准了其与食物直接接触。

acrylonitrile-methyl-acrylate copolymer 丙烯腈甲基丙烯酸酯共聚物

一种丙烯腈甲基丙烯酸酯热塑性塑料聚合物。

acrylonitrile rubber（丙烯腈橡胶）

见 nitrile rubber（丁腈橡胶）。

acrylonitrile-styrene-acrylate polymer（丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯聚合物）

见 acrylate-styrene-acrylonitrile polymer（丙烯酸-苯乙烯-丙烯腈聚合物）。

activation energy（活化能）

一种额外的能量，必须加到原子或分子的体系来允许如扩散或是化学反应的过程进行。

activator（活化物）

见 accelerator（促进剂）。

adherend（粘附体）

通常用粘合剂使其连接到另一物上面。是准备结合的部件或者零件。

adhesion promoter（增粘剂）

见 primer（底漆）。

adhesive（粘合剂）

通常用来使聚合体能与其他材料在加工时或是加工之后（如固化处理）永久或暂时地表面粘结的一种材料，用于焊接和连接。粘合剂有许多种类，包括热熔胶、压敏胶、接触胶、紫外光固化胶、乳液粘合剂等。

adhesive abrasion（胶粘耐磨）

在粘合剂粘合时，在涂液体粘合剂前，应该先对被粘物的局部表面进行表面处理（如机械打磨）。打磨后与胶粘涂层粘附，然后反应，并允许粘合剂固化。据推测，在粘合剂应用之前，在无粘合剂的情况下打磨生成的自由基被空气中的氧气消耗掉。被粘物的打磨常用于碳氟化合物，运用这个技术的聚四氟乙烯（PTFE）的粘接强度增加大约 700%。

adhesive bonding（粘合剂粘接）

通过将粘合剂作用于局部表面使两种塑料或是其他材料粘合在一起的一种方法。运用机械作用或是粘合剂和被粘物之间的化学内应力通过分子力将它们粘合在一起。要求被粘物进行表面处理，粘合剂要固化。

adhesive failure（粘合失效）

在胶粘物和被胶粘物的界面粘合剂粘合失效。粘合失效的例子如所有的粘合剂粘结在一个粘合物上，而另一个粘合物上却没有。粘合失效比能产生内聚力的失效可能性要小，因为它典型地能在低粘合强度时粘合。也见 cohesive failure（内聚失效）。

adiabatic（绝热）

在系统和环境之间没有热转移的过程。对于塑料来说，尽管不完全正确，它常被用来描述成一种挤出模式，其中没有外部热量传递给挤出机。为了保证熔体在连续通过挤出机时的输出温度为常数，通过冷却，热量可以从挤出机上转移。在这个过程中，热量输入来源于机械能量和热量之间的转换。

adipic acid hexanediamine polymer（己二酸正己烷聚合物）

见 nylon 66（尼龙 66）。

adsorption（吸附）

在固体或液体表面上本体分子的富集，也叫物理吸附。

aesthetic（美观）

（一条焊缝的）外观和视觉性能。

alignment（排成直线）

与零件的位置有关。

alpha cellulose（α-纤维素）

见 cellulose（纤维素）。

amideimide resin（酰亚胺树脂）

见 polyamide-imide（聚酰胺-酰亚胺）。

amorphous nylon（非晶态尼龙）

透明的产品，主要涉及共聚物链环的环。见 nylon 6/3T（尼龙 6/3T）。

amplitude（幅度）

颗粒最大的位移。

amplitude transformer（变幅器）

见 booster（升压机）。

annealing（退火）

材料（如塑料、金属、玻璃）加热后慢慢冷却的过程。在塑料和金属的制造过程中，退火主要用来减少应力的形成。塑料加热到一定温度，这时其分子有足够的移动能力使得它们在低残余应力下重新构建。半结晶聚合物加热到一定温度开始缓慢结晶，或者出现重结晶。

antimonic acid（锑酸）

见 antimony pentoxide（五氧化锑）。

antimonic anhydride（锑酸酐）

见 antimony pentoxide（五氧化锑）。

antimony oxide（氧化锑）

见 antimony trioxide（三氧化锑）。

antimony pentoxide（五氧化锑）

SbO_5，一种白色或黄色立方晶系粉末，熔点为 450℃（842℉）。高于 300℃（572℉）时失氧。溶于强碱，生成锑酸盐，微溶于水，难溶于酸（除非含很浓的氢和氯的酸）。五氧化锑由很浓的含氮的酸与金属或三氧化物反应而来，用作纺织品阻燃剂以及制备锑酸盐和锑的化合物。也称为锑酸、锑酐、锑酸酐。

antimony trioxide（三氧化锑）

（Sb_2O_3）白色，无味，结晶粉末，熔点是 655℃（1211℉），溶解在浓度高的含氢或氯和硫的酸以及强碱中，难溶于水。两性氧化物，疑致癌。由氢氧化铵与锑的氯化物、锑在空气中的燃烧物反应而来，或是直接从低级的矿石中提取。三氧化锑用于纺织品、纸和塑料制品，特别是聚氯乙烯的阻燃剂、玻璃脱色剂、画的颜料、铜和铁的防锈剂、乳白的陶瓷，在有机反应中的催化剂或中间物质。也叫氧化锑、白锑。

antimony white（白锑）

见 antimony trioxide（三氧化锑）。

aramid（芳族聚酰胺）

见 aromatic polyamide（芳香族聚酰胺）。

aromatic ester carbonate（芳香酯碳酸盐）

见 aromatic polyester estercarbonate（芳香族聚酯碳酸盐酯）。

aromatic polyamide（芳香族聚酰胺）

从 100% 硫酸溶液纺丝得到的黄色纤维。具有高的强度、耐冲击力、耐磨性、耐化学性。应用领域包括防弹衣、帆、机身部件和体育用品。也称为芳纶。

aromatic polyester（芳香族聚酯纤维）

由芳香族多羟基化合物与芳香族二羧酸或酐共聚，或是由芳香族羟基酸共聚制备得到的热塑性塑料。它们坚硬耐用，耐热，提供优良的尺寸稳定性，绝缘，抗紫外线，阻燃。芳香族聚酯纤维的耐化学性比其他工程塑料要低一些。通过注射、吹塑、挤压和热塑来完成工艺。需要彻底干燥。用于住房和汽车装饰、电线护套、印制电路板、家电外壳。又称为 ARP、多芳基化合物。

aromatic polyestercarbonate（芳香族聚酯纤维碳酸盐）

见 aromatic polyester estercarbonate（芳香族聚酯碳酸盐酯）。

aromatic polyester estercarbonate（芳香族聚酯碳酸盐酯）

由大块芳香族聚酯纤维共聚物和聚碳酸盐组成的热塑性塑料。与多功能的聚碳酸酯相比，它提高了热分解温度。也叫芳香族聚碳酸酯、芳香族聚酯纤维碳酸酯、聚酯纤维碳酸酯。

APR

见 aromatic polyester（芳香族聚酯纤维）。

ASA

见 acrylate-styrene-acrylonitrile polymer（丙烯酸-苯乙烯-丙烯腈聚合物）。

ASA PVC alloy（ASA PVC 合金）

丙烯酸-苯乙烯-丙烯腈和聚氯乙烯的合金。

aseptic（无菌）

在食品加工过程中，在未冷冻的条件下分配和储存时，其工艺流程或条件使一个加工食品基本上是在无微生物生长的环境下生产的。在无菌食品包装时，重新消毒的容器装满无菌食品，然后在一个商业无菌大气中密封。

ASTM D1002

美国材料试验协会（ASTM）通过拉伸载荷对硬片材料的剪切强度进行标准的检验。将硬片材料的两部分，通常尺寸是 102mm × 25mm × 1.62mm（4in × 1in × 0.064in），经过适当的表面处理，重叠 12.7mm（0.5in），使 323mm^2（0.5in^2）的接触面积粘合在一起。然后两端牢固夹紧在拉力试验机的狭口，使狭口分离，速度为 1.3mm/min（0.05in/min），直到出现接头失效。记录下失效载荷（MPa）和失效类型（粘结，内聚力或混合）。这是最普遍的用于金属和金属—金属结构的粘合剂的剪切实验。尽管它在质量控制和比较不同粘合剂方面很有用，但是由于粘合剂复杂的应力分布格局和接头构造使得破坏强度值对工程设计没有用。也叫搭接剪切测试。

ASTM D1761

美国材料试验协会（ASTM）对木材上机械紧固件的性能和强度测试进行的标准实践检验。通过测试机在均匀速率下记录夹持器内面的最大负荷来测试木材上钉子/螺钉的抗拔力。通过拉伸负载测试钉子/螺钉的侧移抗力。通过各种各样的间歇负载连接的变形测试，测量木材和螺栓或其他金属连接器紧固连接的强度和硬度。测量负载下的滑移量来测试竖向荷载能力和桁架吊件的扭矩能力。

ASTM D4501

美国材料测试协会（ASTM）的操作标准是运用块状剪切方法对连接刚性材料的粘合剂的剪切力进行测试。在测试仪器上，粘附的片块、板或磁盘和从负载端移除的焊瘤和圆角都成了剪切夹具（尤其是不低于 44kN，即 10000lbf）。尽管剪切夹具的能力有限，但是测试的样品可以是各种尺寸。剪切工具夹住块状或是其他粘合物，从而成为剪切夹具的一部分。丁字头以 1.27mm/min（0.05in/min）的速度来测试，记录样本维持的最大力。这个测试特别适合测试陶瓷、玻璃、磁铁模具和塑料部件中的一个很难加工或是无法操作的平面之间的结合。

average molecular weight（平均分子量）

见 molecular weight（分子量）。

B

bar（巴）

测量压强的公制单位，相当于 1.0 × 10^{6}dyn/cm^2 或 1.0 × 10^{5}Pa。每单位面积有一个单元尺寸，用于表示

气体、蒸汽和液体的压力。

barrier material（阻隔材料）

如塑料薄膜、薄膜、木材层压板、刨花板、纸张、织物等材料，对气体和蒸汽有较低的渗透性。用于水蒸气的隔离、食品包装和防护衣服等。

base plate（基础电镀）

在焊接加工时金属电镀用来对部件进行加工。

base resin melt index（基础树脂熔融指数）

见 melt index（熔融指数）。

BCF welding（BCF 焊接）

见 bead and crevice free welding（焊珠和裂缝的自由焊接）。

bead and crevice free welding（焊珠和裂缝的自由焊接）

用于热塑性管材，特别是 PVDF 的一种新的自由焊接技术，在管子的外面有加热了的金属珠托，里面有一个气囊，这样在焊接时限制了熔融。用于半导体、制药和食物加工生产。也叫 BCF 焊接、新自由焊接。

beading（卷边）

在加热或不加热的状态下，运用滚轴连接塑料，将热塑性薄板的边缘层卷曲，或在加热或不加热的状态下，用芯棒将热塑性管材末端卷边，将它们变成合适的外形，随后连接或组装。由于过度流动，在涂层时，在板材和其他竖立表面的较低边缘会发生涂层累积。

bending strength（弯曲强度）

见 flexural strength（弯曲强度）。

benzene（苯）

芳香族碳氢化合物，有 6 个碳原子，化学式是 C_6H_6。剧毒，易燃（自燃点为 562℃，即 1044℉），常态下为无色或淡黄色液体（沸点 80.1℃，即 176.2℉），易溶于乙醇、丙酮、四氯化碳等有机溶剂。用于有机化合物的合成。

bisphenol A epoxy resin（双酚 A 环氧树脂）

见 epoxy resin（环氧树脂）。

bisphenol A fumarate polyester（双酚 A 富马酸酯）

见 bisphenol A polyester（双酚 A 聚酯纤维）。

bisphenol A polyester（双酚 A 聚酯纤维）

基于双酚 A 和反丁烯二酸的不饱和热固性树脂，也叫双酚 A 富马酸酯。

black lead（石墨）

见 graphite filler（石墨填料）。

blooming（起霜）

氰基丙烯酸盐粘合剂被视为残留在衬底材料上的白色粉末的一种现象。

Blush

由于低沸点溶剂迅速蒸发使得表面冷却产生溶剂粘结从而形成的冷凝物。

booster（升压机）

在超声波焊接时，用于增加或减少角幅度的机械变换器。也叫幅度变换器、角助力器、阻抗转换器。

booster horn（角助力器）

见 booster（升压机）。

boss（凸台）

空心或实心的突出部分，用于连接和支撑相关元件。在减少材料使用和塑膜周期时间时，设计恰当的

凸台和肋可以为组件提供的尺寸稳定性。在机械连接中，在空心的突出部分有嵌件或螺杆驱动。实心凸台也被称为螺柱。

breaking elongation（断裂伸长）

见 elongation 延伸率。

bursting strength（破裂强度）

如在塑料薄膜上产生断裂所需要的压强或单位面积上最小的力。压力通过一个撞锤或隔膜在控制的速率下被施加到材料的一个特殊区域，材料被稳定地支撑，最初是平的，但后来在增长的压力下自由膨胀。

butadiene-styrene block copolymer（丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物）

见 styrene-butadiene block copolymer（苯乙烯-丁二烯嵌段共聚物）。

butadiene-styrene-methyl methacrylate polymer（丁二烯-苯乙烯-甲基丙烯酸甲酯聚合物）

见 methyl methacrylate-butadiene-styrene terpolymer（甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物）。

butanone（丁酮）

$CH_3COCH_2CH_3$，无色液体，有丙酮气味，溶解于苯、乙醇和乙醚，部分溶于水，可与油类混溶。它在空气中的阈值⊖是 $200\times10^{-4}\%$，吸入有毒，易燃。空气中的爆炸极限是 2% ~10%。由混合的 n-丁烯的硫酸水解物经过蒸馏，控制丁烷氧化或发酵而来。丁酮用作硝化纤维涂料、乙烯基片、油漆去除剂、水泥、粘合剂，以及清洗液和丙烯酸涂料的溶剂，还可以用来冲洗照片，制造无烟火药，作为有机合成的反应试剂。也叫甲基乙基酮、MEK、乙基甲基酮。

butt fusion welding（熔接焊接）

见 heated tool welding（热工具焊接）。

butt joint（对接）

一种边缘连接类型，两零件的边缘的面以正确的角度对在一起。

butt joint welding（对接焊接）

一种部件间是对接的焊接。

C

CA

见 cellulose acetate（纤维素醋酸酯）。

CAB

见 cellulose acetate butyrate（纤维素醋酸丁酸酯）。

capillary method（毛细管法）

一种溶剂焊接法，用注射针将低粘度溶剂施加于接合处，通过毛细管在结合面流动。

caprolactam pyrrolidone polymer（己内酰胺吡咯烷酮聚合物）

见 nylon 46（尼龙 46）。

carbon black（炭黑）

黑色胶体碳的填充料是天然气、石油或其他烃类在空气不足的条件下经不完全燃烧或受热分解而得到的产物。取决于反应材料和制备方法，炭黑分为乙烯黑、槽黑、炉黑等。例如，矿藏不时地刮擦，由钢板或槽铁与气体火焰碰撞制得槽黑。每种炭黑的性能和用途都不一样。炉黑具有高耐磨、快挤出、高模量性

⊖ 阈值 threshold limit value（TLV）是指几乎所有的工人每天重复地暴露其中，并且相信不会产生不良影响的大气中的物质浓度和条件。

能，通用，并且与其他炭黑相比具有半补强的作用。炭黑广泛地用于聚氯乙烯、酚醛树脂和聚烯烃的填料和颜料。它增强了抗紫外线和导电的功能，有时还用作交联剂。也叫胶炭。

carbon fiber（碳纤维）

基本上由碳元素制成，具有高补强性能。制造方法有很多，包括纤维质的高温分解（如人造丝），丙烯酸纤维、沥青基烧尽粘合剂，烃基气体热分解得到的单晶（须晶）。碳纤维的性能取决于碳在其中的形态和碳的最大结晶度（石墨）。这些性能包括高模量和拉伸强度，较高的热稳定性、导电性、耐化学性、耐磨损性，以及相对低的重量。连续的或短纤维用于航空航天材料、高压釜、灯丝电源绕组材料，模塑造形、注射成型工艺。碳纤维在热塑性物质和热塑性塑料如环氧树脂和 ABS 中的体积分数为 20% ~60%。它常与其他纤维如玻璃纤维结合生成杂交的混合体。含有碳纤维的成品包括轮椅、网球拍、汽车零件、机械工具以及电气设备中的支撑结构。也叫石墨纤维。

carbon filler（碳填料）

填料中的一种，内容基于各种形式的碳（如炭黑和石墨）。用作黑色颜料，可以改善润滑性能，增加塑料的导电率。也叫碳粉、粉状碳。

carbon graphite（碳石墨）

见 graphite filler（石墨填料）。

carbon powder（碳粉）

见 carbon filler（碳填料）。

carbon tetrachloride（四氯化碳）

CCl_4，无色透明液体，有甜味，易与乙醇、乙醚、氯仿、苯混合，溶于汽油和挥发或不挥发的油类，微溶于水。不燃。沸点为 76.7℃（170.1℉），凝固点为 -23℃（-9.4℉），蒸气比大气重 5.3 倍，在大气中的阈值为 5×10^{-4}%。摄取、吸入或皮肤吸收都会中毒。在高温时分解为碳酰氯。由二硫化碳在铁催化下氯化或者是甲烷或高烃在 250 ~400℃（482 ~752℉）氯化制得。通过苛性碱除去硫化氯化物以精馏提纯。用于清除金属油渍，有机化合物的氯化，半导体和溶剂的生产（脂肪，油类，橡胶），作为制冷剂和农用熏蒸剂。也叫氯甲。

cast film（流延薄膜）

将树脂溶剂和熔体倾倒扩散在合适的临时基片上，随后通过溶剂蒸发和熔体冷却而固化，从基片上除去固化薄层。

CE

见 cellulosic plastic（纤维质塑料）。

cellulose（纤维素）

一种由 D-葡萄糖以 β-1，4-苷键相连形成的天然线形多糖高分子化合物。来源于植物，例如棉花和树。常用来生产纤维素酯和酯类（如纤维塑料），但是最大的用途是用来造纸。纤维素填料从狭义上说来源于木浆，广义上它们包括棉麻、木屑、木质素、木条和各种纤维废料如棉纤维废渣。将木浆和碱液制成无色填料，用于热硬化的树脂（如石炭酸）。也叫 α 纤维素、纤维素浆。

cellulose acetate（纤维素醋酸酯）

由纤维素和醋酸制得的热塑性树脂，有刚性，有光泽，透明，具有良好的可加工性、刚度、硬度、手感以及绝缘性能。这种树脂的缺点包括对溶剂和碱性材料的耐腐蚀性较差，易长霉，高的吸水性和渗透性，相当低的耐压强度，易燃。通过注射吹塑和挤压进行加工。应用包括电话和器械领域、汽车方向盘、钢笔和铅笔、工具手柄、管状容器、眼镜框架、毛笔、磁带、薄板和标牌。也叫 CA。

cellulose acetate butyrate（纤维素醋酸丁酸酯）

纤维素和醋酸丁酸混合形成的热塑性树脂。有韧性，有光泽，透明，具有良好的加工性、低温冲击强度、尺寸稳定性、耐候性、手感以及绝缘性能。这种树脂的缺点包括对溶剂和碱性材料的耐腐蚀性较差，

易长霉，高的吸水性和渗透性，相当低的耐压强度，易燃。通过注射吹塑和挤压进行加工。应用包括电话和器械领域、汽车方向盘、钢笔和铅笔、工具手柄、管状容器、眼镜框架、毛笔、磁带、薄板和标牌。也叫 CAB、丁酸纤维素。

cellulose butyrate（丁酸纤维素）

见 cellulose acetate butyrate（纤维素醋酸丁酸酯）。

cellulose propionate（纤维素丙酸酯）

纤维素和丙酸酯混合形成的热塑性树脂。有韧性，有光泽，透明，具有良好的加工性、低温冲击强度、尺寸稳定性、耐候性、手感以及绝缘性能。这种树脂的缺点包括对溶剂和碱性材料的耐腐蚀性较差，易长霉，高的吸水性和渗透性，相当低的耐压强度，易燃。通过注射吹塑和挤压进行加工。应用包括电话和器械领域、汽车方向盘、钢笔和铅笔、工具手柄、管状容器、眼镜框架、毛笔、磁带、薄板和标牌。也叫 CP。

cellulose pulp（纤维素浆）

见 cellulose（纤维素）。

cellulosic（纤维质）

见 cellulosic plastic（纤维质塑料）。

cellulosic plastic（纤维质塑料）

一种由纤维素树脂和树脂制得的热塑性塑料。最重要的树脂是醋酸纤维素，包括混合的树脂和硝酸盐，重要的树脂还有乙基和羧甲基。有韧性，有光泽，透明，具有良好的加工性。另外，醋酸纤维素有良好的硬性和硬度，丁酸纤维素和丙烯酸纤维素增加了耐候性、低温耐冲击性和尺寸稳定性，并且所有的酯都有良好的手感，有绝缘性能。这种酯的缺点包括对溶剂和碱性材料的耐腐蚀性较差，易长霉，高的吸水性和渗透性，相当低的耐压强度，易燃。通过注射吹塑和挤压加工成型。应用包括电话和器械领域、汽车方向盘、钢笔和铅笔、工具手柄、管状容器、眼镜框架、毛笔、磁带、薄板和标牌。也叫 CE。

chain scission（断链）

聚合物分子链的断裂，是化学，光化学等作用的结果。如热分解、光照分解反应。

chamfer（倒角）

一个有斜面的边或角，由斜切一个锋利的边缘得到。

chemical saturation（化学饱和状态）

在有机分子如大多数聚合物的链中，通常是在碳原子之间双键或三键的缺失。饱和使得分子不易反应，而且聚合物较少地受到分解和交联的影响。

chemical unsaturation（化学非饱和状态）

在有机分子如大多数聚合物的链中，通常在碳原子之间有双键或三键的存在。非饱和状态使得分子更容易反应，尤其是在自由基加成反应如加聚反应中，并且聚合物更容易受到分解、交联和化学反应的影响。

chlorendic polyester（氯聚酯纤维）

一种基于氯桥酸酐的热固性聚酯纤维。

chlorinated polyvinyl chloride（氯化聚氯乙烯）

聚氯乙烯经过氯化后得到的热塑性塑料，提高了玻璃化温度，在载荷下热变形。具有较高的耐化学性、刚性、拉伸强度和耐候性，阻燃。通过挤压、注射、铸造、压延加工成型。用于冷热水管或其他设备、化学液体管道、汽车零件、废水处理装置、室外设备、镶玻璃条。也叫氯化 PVC、CPVC、PVC-C。

chlorinated PVC（氯化 PVC）

见 chlorinated polyvinyl chloride（氯化聚氯乙烯）。

chloroprene rubber（氯丁二烯橡胶）

见 neoprene rubber（氯丁橡胶）。

chlorosulfonated PE rubber（次氯酸钠磺化的 PE 橡胶）

见 chlorosulfonated polyethylene rubber（次氯酸钠磺化的聚乙烯橡胶）。

chlorosulfonated polyethylene rubber（次氯酸钠磺化的聚乙烯橡胶）

热塑性弹性体，包含 20% ~40% 的氯和大约 1% ~2% 的硫黄。在日晒和紫外线条件下抵制臭氧和氧的作用，也能抵制由于热、化学物质和溶剂造成的腐蚀。这些弹性体普遍用于住房、管道、薄层制品、单鞋和高跟鞋、帆船、夹克和防风装置。也叫氯化磺化 PE 橡胶、CSM、CSPE 橡胶。

chopped glass fiber（短切玻璃纤维）

一种只有 3.2 ~12.7mm 长的玻璃纤维，由短切玻璃原丝制成。不同的纤维由原丝结合在一起，这样在剪切后它们仍捆束在一起。广泛用于大体积模塑料，然后经压缩、转换和注射成型。也叫短切原丝、中等玻璃纤维、短玻璃纤维。

chopped strand（短切原丝）

见 chopped glass fiber（短切玻璃纤维）。

chromic acid etching（铬酸酸蚀处理）

在胶粘连接中，表面处理时，铬酸用来引进氧化反应分子组，如羟基、羰基、羧基、氢化亚硫酸盐，也作用于部件表面，在机械联锁中，形成像根一样的腔（如位点）。通常用于聚烯烃、ABS、聚苯醚、乙缩醛。

CO_2 laser（CO_2激光）

这些激光由空气冷却的气体产生，生成光束的主要条纹在大约 9.4nm 和 10.6nm。主要用于剪切和焊接金属。

cobalt naphthenate（环烷酸钴）

一种棕色的非结晶粉末，或是不定化合物的蓝红固体。溶于乙醇、乙醚和油类，不溶于水，易燃。环烷酸钴由氢氧化钴或醋酸钴与环烷酸反应制得。用作连接橡胶和钢或其他金属的催化剂，用作涂料和清漆的干燥剂。

cobalt-60（钴-60）

一种钴的不稳定同位素，广泛用作伽马射线的来源。

COC

见 cyclic olefin copolymer（环状烯烃共聚物）。

cocatalyst（助催化剂）

见 accelerator（促进剂）。

coefficient of expansion（膨胀系数）

一个当温度增加时材料的长度和体积膨胀的因数。

coextruded film（复合薄膜）

由两种或两种以上不同或类似的塑料通过单个或是两个或两种以上的模孔装置复合成的一种薄膜，这样在冷却前挤出物混合并焊接在一起形成薄片状的薄膜。复合薄膜的每层都具有特殊的性能，如不渗透性、耐环境性、热密封性，通常单层材料不能达到这样的效果。

cohesion（内聚力）

主体中结合在一起的力。

cohesive failure（内聚失效）

粘合剂的粘合作用失效，使得粘合剂存在于粘合物的表面。当两个被粘物的剪切表面被完全覆盖时，最可能的失效是 100% 内聚失效。见 adhesive failure（粘合失效）。

colloidal carbon（胶态碳）

见 carbon black（炭黑）。

conditioning（调节）

在进一步操作，热处理等之前，把材料或装置带入某种状态（例如含湿量或温度）的过程。也叫循环条件。

conditioning cycle（循环条件）

见 conditioning（调节）。

conduction（传导）

由于温度变化导致热的转移和能量的迁移。温度变化时热量靠分子的运动来转移，随着热运动的程度不同，分别进入较冷或较热的区域。见 convection（对流）、radiation（辐射）。

contact adhesive（接触式粘合剂）

一种在接触时将自己粘合的粘合剂。把粘合剂应用于两个粘合物，在干燥之后形成连接，粘合物上没有残余压力。由氯丁橡胶组成，很少含腈弹性体。见 pressure sensitive adhesive（压敏胶）。

continuous glass fiber（连续玻璃纤维）

由各种等级的玻璃的熔体拉伸制成的细丝原丝（粗纱）。用于薄片成型化合物、喷射成型层压材料、灯丝电源绕组。在加工过程中，连续性玻璃纤维提供快速打湿、拉伸和耐磨性能。也叫连续玻璃粗纱、连续原丝粗纱、长玻璃纤维。

continuous glass roving（连续玻璃粗纱）

见 continuous glass fiber（连续玻璃纤维）。

continuous roving（连续粗纱）

见 continuous glass fiber（连续玻璃纤维）。

continuous strand roving（连续原丝粗纱）

见 continuous glass fiber（连续玻璃纤维）。

convection（对流）

由于物理性能如密度、温度等的不同，从流体流动中出现颗粒的集中移动。由于温度不同而产生的集中移动导致热量转移，如热空气流向上移动。也见于 conduction（传导）、radiation（辐射）。

converter（转换器）

见 transducer（传感器）。

copolyester（共聚多酯）

见 polyester（聚酯）。

copolyester thermoplastic rubber（聚酯热塑性橡胶）

见 polyester thermoplastic elastomer（聚酯热塑性弹性体）。

copolyester TPE（聚酯 TPE）

见 polyester thermoplastic elastomer（聚酯热塑性弹性体）。

copy milling（仿形铣削）

用来精确生产元件的机械行为。

corona discharge treatment（电晕放电处理）

在粘合剂连接中，在表面处理时，电离周围空气使得高电储能释放。空气与塑料反应使表面不平，提供机械联锁的位点并在表面上引进反应位点。功能团例如羰基、羧基、氢过氧化物、醛、醚、酯、羧酸和不饱和连接点均作为反应位点。普遍用于聚烯烃，电晕放电增加了可湿性和表面反应性。在塑料加工过程中，惰性塑料如聚烯烃的表面处理时的电晕放电增加了其对油墨、粘合剂的亲和性。塑料薄膜越过地面金属柱，因为其上面有指定的高压电使其放电。放电氧化表面，使其更容易接受从而完成过程。也叫电晕处理、等离子弧处理。

corona treatment（电晕处理）

见 corona discharge treatment（电晕放电处理）。

Coulombic friction（库仑摩擦）

当两个干燥表面一起摩擦时产生的相反的力，如在振动焊接和旋转焊接时。也叫外摩擦，也见于 internal friction（内摩擦）。

coupler（耦合器）

在超声波连接中，一种不影响角的幅度的助推器，它的增益比为 1∶1。

CP

见 cellulose propionate（纤维素丙酸酯）。

CPVC

见 chlorinated polyvinyl chloride（氯化聚氯乙烯）。

cracking（裂纹）

由于超过材料强度的力导致材料外部或内部开裂的现象。压力分为内部的和外部的，由各种不利条件引起，例如结构缺陷、冲击力、老化、腐蚀等或它们的组合。也叫银纹。

crazing（银纹）

表面上极细的裂纹或材料内极小的像霜一样的裂纹，例如塑料，是由于残留应力、冲击力、温度变化、降解等产生的。也叫裂纹。

creep（蠕变）

取决于温度，在应力作用下，材料的应变增加。

cross-linked PE（交联 PE）

见 cross-linked polyethylene（交联聚乙烯）。

cross-linked polyethylene（交联聚乙烯）

热塑性聚乙烯由光照或运用化学添加剂（如过氧化物）而产生部分交联，在较宽的温度范围内提高了拉伸强度、非传导性能和抗冲击强度。也叫交联 PE、PEX。

cross-linking（交联）

在链状高分子或高分子与低分子化合物（如炭黑填料）之间反应形成的共价键连接。交联的结果使得聚合物如热塑性树脂变硬并难熔。交联由热、紫外线、电束辐射、氧化等诱导形成。交联可由单独聚合物大分子如不饱和聚合物之间或在多功能交联作用剂如二元胺的作用下与聚合物功能性官能团反应完成。交联能在过渡金属复合物、硫醇和其他化合物存在的情况下被催化。

crystal polystyrene（结晶聚苯乙烯）

见 general purpose polystyrene（通用聚苯乙烯）。

crystal PS（结晶 PS）

见 general purpose polystyrene（通用聚苯乙烯）。

crystalline melting point（结晶熔点）

结晶聚合物晶相熔解的温度。它比周围非结晶相的玻璃化转变温度要高。

CSM

见 chlorosulfonated polyethylene rubber（次氯酸钠磺化的聚乙烯橡胶）。

CSPE rubber

见 chlorosulfonated polyethylene rubber（次氯酸钠磺化的聚乙烯橡胶）。

CTFE

见 polychlorotrifluoroethylene（聚氯三氟乙烯）。

curing（固化）

在交联，氧化和聚合（添加或压缩）时硬化的过程。

cyanoacrylate（氰基丙烯酸盐粘合剂）

一种高活性的粘合剂，在粘合剂连接时，在室温下与少量水分催化剂迅速固化，在塑料和金属间形成高强度的连接。

cyanoguanidine（氰基胍）

见 dicyandiamide（双氰胺）。

cyclic olefin copolymer（环状烯烃共聚物）

无定形聚烯烃。透明，具有高阻湿性。主要用于照相机镜头、投影仪、监视器和医学设备。也叫 COC。

cyclohexane（环己烷）

C_6H_{12}，无色液体，有刺激性气味。分子结构为脂环烃，取决于碳原子的键角，能存在于“船型”或“椅型”两个构造中，沸点为 80.7℃（177℉），凝固点为 6.3℃（43℉），自燃温度为 260℃（500℉）。它是危险的爆炸性聚合物，空气中的爆炸极限为 1.3% ~8.4%（体积分数）。吸入和皮肤接触会发生中等中毒，在空气中的阈值为 $300\times10^{-4}\%$。来源于原油或由苯经氢化制得。用于尼龙的生产、原油的提炼，是纤维素醚、脂肪、油类、生胶、沥青、树脂、蜡等的优良溶剂，用作有机合成，用作涂料和清漆的去除剂，玻璃的替换品。也叫 hexalhydrobenzene、环己。

cyclohexanone（环己酮）

$C_6H_{10}O$，油状液体，颜色介于蛋青色和灰黄之间，有轻微的丙酮和薄荷的气味；溶于有机溶剂，如乙醇和乙醚，微溶于水；自燃温度为 420℃（788℉）；吸入和皮肤接触时会中毒，在空气中的阈值是 $25\times10^{-4}\%$。由环己醇在 138℃（280℉）与空气反应，或由含脂肪酸或氧化物的环己烷氧化制得。用来制备脂肪酸、己内酰胺、聚氯乙烯和它的共聚物、甲基丙烯酸酯聚合物和金属的除油。用作木材的染色，涂料、清漆的去除剂，污点去除，亮光剂，天然、人造树脂，润滑油和其他产品。也叫 ketohexamethylene。

D

DAIP

见 diallyl phthalate（己二烯钛酸酯）。

damping（阻尼）

在零件装配时，机械地限制了装配零件的振幅。

DAP

见 diallyl phthalate（己二烯钛酸酯）。

dart impact energy（投掷冲击能量）

见 falling weight impact energy（落重冲击能量）。

dart impact strength（投掷冲击强度）

见 falling weight impact energy（落重冲击能量）。

DCM

见 dichloromethane（二氯甲烷）。

deflection temperature under load（负载下的转变温度）

见 heat deflection temperature（热变形温度）。

degradation（降解）

由于老化、化学反应、磨损、使用、暴露在外等原因导致的性能丧失或发生未预料的改变。这些性能包括颜色、尺寸、强度等。

density（密度）

在特定温度和压力下单位体积的物质（气体，液体或固体）的质量。在标准条件（压力为1atm，温度为0℃（32℉））下测量的密度叫绝对密度。注意：如塑料，在23℃（73.4℉）时，通过ASTM D792测量材料不可渗透部分的每单位体积上的空气中的重量，为其密度。也叫绝对密度、绝对重力、质量密度。

diallyl isophthalate（已二烯钛酸树脂）

见diallyl phthalate（已二烯钛酸酯）。

diallyl isophthalate resin（已二烯钛酸树脂）

见diallyl phthalate（已二烯钛酸酯）。

diallyl phthalate（已二烯钛酸酯）

由已二烯钛酸酯（预）聚组成的热塑性树脂。有时作为单体。这些树脂在高温和高湿下具有优越的抗湿性、较高的反应温度、优良的电学性能、尺寸稳定性、耐化学性（除了苯酚和氧化性酸），有很好的机械强度。缺点包括在固化时起皱，成本较高。由过氧化物催化剂固化。通过注射、压缩和转换成型来加工。用作玻璃纤维补强塑料部分，如软管、汽车保护套、电器连接器和转换器。也叫DAIP、DAP、已二烯钛酸树脂、PDAP。

diallyl phthalate resin（已二烯钛酸树脂）

见diallyl phthalate（已二烯钛酸酯）。

diaphragmming（隔膜）

部分弯曲导致细平部分的受压、破裂或未预料的熔解。也叫铸板凹陷，描述成当受到超声波能量时，塑料部分的上下弯曲。

dichloroethylene 1，2（二氯乙烯1，2）

ClCH = CHCl，无色液体，气味宜人，具有顺式和反式两种异构体。溶于大多数有机溶剂，微溶于水。反式异构体的沸点为47～49℃（116～120℉），顺式异构体的沸点为58～60℃（136～140℉），凝固点为－80℃（－112℉）。它在空气中的爆炸极限为200×10^{-4}%，摄取、吸入和皮肤接触时会中毒，浓度高时有刺激性，有麻醉效果。易燃，是危险爆炸性混合物。用作染色剂、香水、发蜡、热塑性塑料、有机合成、有机化合物的溶剂。也叫二氯乙炔。

dichloromethane（二氯甲烷）

CH_2Cl_2，无色，易挥发液体，有乙醚气味，沸点为40.1℃（104.2℉），凝固点为－97℃（－143℉），溶于乙醇、乙醚，微溶于水。在空气中不燃，不爆。二氯甲烷是致癌物和麻醉药。在空气中的爆炸极限为100×10^{-4}%。由用氯处理过的氯甲烷蒸馏制得。用作制冷剂、不燃涂料去除剂、塑料加工溶剂萃取剂、泡沫起泡剂、气溶胶喷射剂、溶剂脱脂、有机合成溶剂。也叫DCM。

dicyandiamide（双氰胺）

$NH_2C(NH)(NHCN)$，白色晶体，干燥时稳定。溶于氨水，部分溶于热水。熔点为207～209℃（405～408℉）。不燃。由两个氨基氰聚合而成。用作环氧树脂的催化剂、硝酸纤维素的稳定剂、淀粉产品的改进剂、油井钻探泥浆的稀释剂、有机物的反应剂、肥料、医药品、染料、表面硬化准备、低温焊接混合物，还有许多其他运用。也叫氰基胍。

dielectric dissipation factor（介质损耗因子）

导电材料中功率损耗与有效电压和电流的产品的比率，或介质相角的余切，介质损失角的正切。注意：针对根据ASTM D150测量的塑料。也叫电介质损失正切、损失因子、介电常数损失因子。

dielectric loss tangent（电介质损失正切）

见dielectric dissipation factor（介质损耗因子）。

dielectric welding（绝缘体焊接）

见radio frequency welding（射频焊接）。

differential scanning calorimetry（差示扫描量热法）

作为温度的一项功能，通过监测能量输入物质和参考材料的不同来测试能量吸收和产出的一项技术。能量的吸收生成恒温物质，能量的产出形成了放热曲线。可用于能量变化过程，如熔融、结晶、树脂固化、溶剂流失，或热能变化过程，如玻璃化温度的转变。也叫 DSC。

dimethylene oxide（二亚甲基氧化物）

见 ethylene oxide（氧化乙烯）。

dimethyl ketone（二甲基甲酮）

见 acetone（丙酮）。

diode laser（二极管激光器）

一种激光器，它的活性媒介是半导体，类似于二极管的光线射出。实际运用最普遍的二极管激光器是由 p-n 节通过注射电流提供能量形成。

dip method（浸渍法）

一种溶剂焊接法，在把将要连接在一起的零件放在一起融化之前将它们的边缘浸渍在一盘溶剂里。也叫浸泡法。

direct contact heated tool welding（直接接触热工具焊接）

见 heated tool welding（热工具焊接）。

direct drive welding（直接驱动焊接）

运用连续的机械旋转驱动来旋转焊接的方法。

displacement（位移）

由于焊接引起的与结合面成直角的原件尺寸的减少。

displacement transducer（位移传感器）

用于测量位移的多少，在焊接操作时用来控制位移。

dissipation factor（耗散因子）

见 dielectric dissipation factor（介质损耗因子）。

dissolving capacity（溶解能力）

见 solubility（溶解度）。

DMF

见 N，N-dimethylformamide（N，N-二甲基甲酰胺）。

dodecanedioic acid hexamethylenediamine polymer（己二胺与十二烷二酸缩聚物）

见 nylon 612（尼龙 612）。

drive pin（传动销）

见 locating pin（定位销）。

driving torque（驱动转矩）

在机械连接时，驱动自攻螺纹螺钉进入定位孔的必需的力。其值越小越好。

drop dart impact strength（落锤冲击强度）

见 falling weight impact energy（落重冲击能量）。

drop weight impact strength（落锤冲击强度）

见 falling weight impact energy（落重冲击能量）。

DSC

见 differential scanning calorimetry（差示扫描量热法）。

durability（耐久性）

见 stability（稳定性）。

durometer harness（计示硬度）

材料的缺口硬度，由缺口在特定负载下产生的缺口深度或缺口负载要求产生特定的缺口深度决定。用来测量聚合材料缺口硬度的工具叫硬度计。

E

EAA

见 polyethylene-acrylic acid copolymer（聚乙烯丙烯酸共聚物）。

EA rubber（EA 橡胶）

见 ethylene acrylic rubber（乙烯丙烯酸橡胶）。

EAR

见 ethylene acrylic rubber（乙烯丙烯酸橡胶）。

ECTFE

见 ethylene chlorotrifluoroethylene copolymer（乙烯氯三氟乙烯共聚物）。

EF welding（EF 焊接）

见 electrofusion welding（电熔焊接）。

elasticity constant（弹性常数）

见 modulus of elasticity（弹性模量）。

electrofusion welding（电熔焊接）

一种电阻植入焊接工艺，用来连接热塑性管材或线路，在这里电流应用于热塑性材料周围热的原件。产生的热量导致热塑性材料和管材表面的热塑性塑料熔融并流到一起，形成一条焊缝。普遍用于连接聚乙烯管材。也叫 EF 焊接。

electromagnetic radiation（电磁辐射）

通过电磁振荡场和相关能量，电子电荷产生的波。

electromagnetic welding（电磁焊接）

见 induction welding（感应焊接）。

electron beam（电子束）

见 electron beam radiation（电子束辐射）。

electron beam radiation（电子束辐射）

电离辐射由电子用近似相等的速度在狭窄电子流中向前移动而传播。也叫电子束。

Elmendorf tear strength（Elmendorf 抗撕裂强度）

柔韧的塑料薄膜或片材对撕裂传播的抵抗力。通过 ASTM D1922 测试，如平均力，单位是 g，要求撕裂从按规格裁切的裂缝（有样本长度）传播，采用 Elmendorf 型摆锤式试验仪和两个样本，一个是矩形的，另一个有固定的半径测试长度。

elongation（延伸率）

在拉伸时试样长度的增加，在折断时或者折断后测量，取决于材料的粘弹性能。注意：延伸率通常表示为原始直径长度的比例。也叫破裂延伸率、在破裂时的延伸率、拉伸延伸率、最大延伸率。

elongation at break（破裂延伸率）

见 elongation（延伸率）。

EMAC

见 ethylene methyl acrylate copolymer（乙烯丙烯酸甲酯共聚物）。

EMA welding（EMA 焊接）

见 induction welding（感应焊接）。

embrittlement（脆化）

由于化学或物理破坏导致金属的延展性较低。

energy director（导能器）

塑料的一个三角形点，模塑成待连接元件的一部分。用于超声波焊接，它把超声波的能量集中于一点，使其快速生成热并熔融。

environmental stress cracking（环境应力开裂）

热塑性材料由于承受特殊化学物中的压力、应力、温度条件或老化作用而产生的裂纹或银纹。也叫 ESC。

EP

见 epoxy resin（环氧树脂）。

EPDM

见 EPDM rubber（EPDM 橡胶）。

EPDM rubber（EPDM 橡胶）

由乙烯、丙烯和少量的未结合的二烯烃如已二烯生成的橡胶，经硫黄硫化。主要性能是对氧气、臭氧、光、高温、低温、酸、碱和油类有极好的抵抗性。它们可以用于其他弹性体，例如冲击改性剂，也用来提高对热和臭氧的抵抗性。典型的应用包括包括挡风雨条、汽车零件、绝缘电缆、传送带、花园和工厂的水龙头、电器油管。EPDM 橡胶已经被提议在制造轮胎时作为天然橡胶的潜在替代物。也叫 EPDM、乙烯丙烯二烯烃橡胶。

epoxides（环氧衍生物）

包含三成员的循环基团的有机化合物，在基团里两个碳原子和一个氧原子连接，这个基团叫环氧基团，它相当活泼，用作碳氟化合物和纤维素衍生物的中间产品和环氧树脂的单体。

epoxy（环氧化）

见 epoxy resin（环氧树脂）。

epoxy resin（环氧树脂）

热固性聚醚家族，包括交联的惰性丙三醇类。最大的一组环氧树脂是由双酚 A 和环氧氯丙烷聚合制得的。这些树脂有较宽的粘性范围，取决于它们的分子量，在有聚胺或酐的催化下在室温或高温下固化。脂肪族和脂环族的环氧树脂由烯烃与乙酸的过氧化反应或多羟基化合物与环氧氯丙烷的环氧化制备。酚醛环氧树脂由可溶性的酚醛树脂与环氧氯丙烷反应制得。乙烯基酯或丙烯酸环氧树脂由环氧树脂和不饱和的羧基酸如丙烯酸制得。还有其他的特殊类型的环氧树脂，如卤化环氧的含苯氧基的树脂。双酚 A 环氧树脂在固化时具有优越的粘合性和较低的收缩量。此外，固化的酚醛树脂和脂环族树脂有较好的抗紫外线和电绝缘性能，固化的乙烯基酯树脂具有高强度和耐化学性，溴化环氧树脂具有阻燃性。一些环氧树脂有较差的氧化稳定性。通过注射、压缩、转换、结构泡沫成型、铸造、涂层和锻压来加工。广泛用作保护涂层、粘合剂、灌注混合物、层压材料的连接剂、铺地板的材料、土木工程材料，用于与电有关的和电子的产品。也叫双酚 A 环氧树脂、EP、环氧。

epoxyethane（环氧乙烯）

见 ethylene oxide（氧化乙烯）。

EPR

见 ethylene propylene rubber（乙丙橡胶）。

EPS

见 expanded polystyrene（发泡聚苯乙烯）。

ESC

见 environmental stress cracking（环境应力开裂）。

etching（蚀刻）

在粘合和溶剂连接时，一种塑料表面预处理的过程。通过去除塑料表面的物质使其暴露在外，与化学物质（如铬酸）反应，或通过电流，导致表面氧化和表面粗糙度的增加。

ETFE

见 ethylene tetrafluoroethylene copolymer（乙烯四氟乙烯共聚物）。

ethane（乙烷）

一种含两个碳原子的烷烃（饱和脂肪族烃），CH_3CH_3。无色无味的易燃气体，化学性相对不活泼。存在于天然气中。作为燃料用于石油化学的合成。

ethanol（乙醇）

见 ethyl alcohol（乙烷基酒精）。

ethene（乙烯）

见 ethylene（乙烯）。

ethyl acetate（乙酸乙酯）

CH_3CO_2—CH_2CH_3。无色，芳香的，可燃性液体。自燃温度为 426℃（799℉），吸入或皮肤吸收时有毒。由醋酸和乙醇酯化制得。用于有机合成，用作涂料和塑料的溶剂、人造革和制药。也叫醋酸乙酯。

ethyl alcohol（乙烷基酒精）

一种脂肪族酒精，CH_3CH_2OH。无色，易挥发的易燃液体。自燃温度为 422℃（729℉），摄取时中毒。由乙烯催化水合作用、生物（如小麦）的发酵、纤维素的酶水解来制备。用于有机合成，用作汽车燃料添加剂、酒精饮料、化妆品、防冻剂、防腐剂、树脂和油脂的溶剂、清洗混合物。也叫乙醇。

ethylene（乙烯）

$CH_2=CH_2$，含两个碳原子的烷烃，是不饱和的脂肪族烃。无色，有香甜味，易燃气体。自燃温度为 543℃（1009℉）。由碳氢化合物气体热裂解制备，或来源于有机气体。用做聚合物合成的单体、制冷剂、麻醉剂。

ethylene-acrylic acid copolymer（乙烯丙烯酸共聚物）

见 polyethylene-acrylic acid copolymer（聚乙烯丙烯酸共聚物）。

ethylene acrylic rubber（乙烯丙烯酸橡胶）

一种热塑性弹性体、乙烯丙烯酸酯组成的聚合物。它用于需要具有良好的低温性能和能够抵制由于热、油和水引起恶化的硬质橡胶的领域。用于汽车、重型装置和工业零件。也叫丙烯酸乙烯橡胶、EAR、EA 橡胶。

ethylene alcohol（乙烯酒精）

见 ethylene glycol（乙二醇）。

ethylene chlorohydrin（乙烯氯乙醇）

C_2H_5ClO，一种无色液体，易溶于大多数有机溶剂和水。自燃温度为 425℃（797℉），是中等的易燃危险品。由乙烯和亚氯酸反应制备。有很强的刺激性，吸入、皮肤吸收等均可致死，在空气中的爆炸极限是 $10^{-4}\%$。可渗透橡胶手套。用作纤维素衍生物的溶剂、有机合成的内部媒介（如用于环氧乙烷）和触媒剂。注意：消毒时乙烯氧化物的水解导致乙烯氯乙醇的形成和消毒物残余应力的存在。也叫乙撑氯醇。

ethylene chlorotrifluoroethylene copolymer（乙烯氯三氟乙烯共聚物）

乙烯和氯三氟乙烯主要以 1∶1 的比例形成的热塑性转变共聚物。其强度、耐蠕变性、耐磨性明显高于其他由氟代聚合物形成的共聚物。它有良好的电绝缘性能，在室温和高温下都有非常高的耐化学性、耐火性。使用温度范围从低温区域到 166℃（330℉）。通过模塑、挤压、滚塑等来加工。应用包括电线和电缆绝缘材料、柱填充剂、泵的元件、过滤器、软管、衬里、编织套管和隔离膜。也叫 ECTFE。

ethylene glycol（乙二醇）

$C_2H_6O_2$，一种无色粘稠液体，可溶于极性有机溶剂，如乙醇和水。自燃温度为 413℃（775℉）。在空气中的爆炸极限是 $50\times10^{-4}\%$，摄取和吸入会中毒。由乙烯在空气中氧化、乙烯氧化物的水解、合成气、环氧乙烷的加工等制得。用于生产聚酯的单体，用作冷却剂、抗冻剂、溶剂添加剂、泡沫稳定剂、制动液以及许多其他产品。注意：在消毒时乙烯氧化物的水解导致乙二醇的产生和消毒物质的残余物。也叫乙烯酒精。

ethylene methyl acrylate copolymer（乙烯丙烯酸甲酯共聚物）

由乙烯的高压聚合物和少于 40% 的丙烯酸甲酯制得的热塑性树脂。此树脂具有好的电绝缘性能、韧性、热稳定性以及耐环境压力开裂性能。在低密度聚乙烯的装置中也同样具有良好的加工性能。与其他的聚烯烃有很高的相容性，允许大量填充。随着丙烯酸含量的增加，光学性能退化。通过吹塑薄膜挤出、挤出、吹塑、注射成型进行加工。用途包括涂层，热封薄膜，一次性手套，以及消毒包装材料。也叫 EMAC、甲基丙烯酸-乙烯聚合物。

ethylene oxide（氧化乙烯）

最简单的，不可取代的饱和环氧物，分子式为 CH_2OCH_2。氧化乙烯在室温下为无色气体，自燃温度为 429℃（805℉）。它对眼睛和皮肤有刺激性，是可疑的致癌物质。在空气中的爆炸极限是 $1\times10^{-4}\%$，是一种易燃易爆品。氧化乙烯由乙烯的催化氧化或者氯乙醇的碱水解制得。用于生产乙二醇和重要的化工原料如聚氧化乙烯的表面活性剂，用作消毒剂、熏蒸剂和火箭推进剂。也叫二亚甲基氧化物、环氧乙烷、ETO、氧杂环丙烷。

ethylene polymers（乙烯聚合物）

包括乙烯和其他不饱和单体、大部分重要的烯烃如丙烯和极性物质如乙酸乙烯酯均聚和共聚得到的聚合物。乙烯聚合物的性能和应用取决于分子结构和重量。

ethylene propylene diene monomer rubber（乙烯丙烯二烯烃单体橡胶）

见 EPDM rubber（EPDM 橡胶）。

ethylene propylene rubber（乙丙橡胶）

由乙烯和丙烯的有规立构聚合物制备的弹性体。乙丙橡胶的性能类似于天然橡胶。用作塑料和轮胎中的抗冲改良剂。也叫 EPR。也见于 EPDM rubber（EPDM 橡胶）。

ethylene propylene terpolymer（乙烯丙烯三元共聚物）

一种由乙烯、丙烯和一个不确定的组分组成的聚合物。

ethylene tetrafluoroethylene copolymer（乙烯四氟乙烯共聚物）

由乙烯和四氟乙烯交替共聚组成的热塑性塑料。具有较高的耐冲击性和良好的耐磨损性、耐化学性、耐候性和电学性能，接近全氟聚合物的性能。从低温度到 180℃（356℉）都能保持机械性能。可以被模塑成型、挤出以及粉末涂覆。用于软管、电缆和电线产品、阀、泵元件、包裹层以及太空中的填塔料和化学装置领域。也叫 ETFE。

ethylene-vinyl acetate（乙烯-乙烯基醋酸盐）

热塑性塑料中乙烯基醋酸盐的含量范围为 5% ~50%。即使在低温下，它们也具有高的韧性和弹性以及良好的耐应力开裂性。与低密度聚乙烯相比，它们很少结晶。能够注射、吹塑和挤出成型，用于包装薄

膜、电线和电缆绝热材料、粘合剂和地毯垫面。也叫 EVA。

ethylene vinyl alcohol copolymer（乙烯-乙烯基乙醇共聚物）

由乙烯-乙烯基醋酸盐共聚物水解制得的热塑性塑料。这些树脂有良好的气体和蒸汽阻隔性，高的机械强度，有光泽、弹性、耐候性、耐溶剂和油类性能。EVOH 树脂的透明度、表面硬度和耐磨损性都很高。吸潮影响了蒸汽阻隔性。随着乙烯含量的增加，树脂加工性能提高，吸潮性降低。通过（共）挤出、涂层、吹塑、热塑成型和成膜技术进行加工。主要用作食品和非食品的包装薄膜和容器。也叫 EVOH。

ethyl methyl ketone peroxide（乙基甲基酮过氧化物）

见 methyl ethyl ketone peroxide（过氧化甲乙酮）。

ETO

见 ethylene oxide（氧化乙烯）。

EVA

见 ethylene-vinyl acetate（乙烯-乙烯基醋酸盐）。

EVOH

见 ethylene vinyl alcohol copolymer（乙烯-乙烯基乙醇共聚物）。

expanded polystyrene（发泡聚苯乙烯）

由 90%～95% 的聚苯乙烯和 5%～10% 的发泡剂混合形成，发泡剂通常是戊烷或 CO_2，使用热（通常是蒸汽）扩大为泡沫。它的密度变化范围为 25～200kg/m^3，取决于发泡剂的用量。应用领域包括食品材料和医药产品的包装、建筑用的绝缘板、儿童车的座位和摩托车头盔。也叫 EPS。

extenders（填充剂）

相对便宜的树脂、增塑剂或填料（如碳酸盐），用于降低成本或提高塑料、橡胶或非金属涂层的加工性能。

external friction（外摩擦）

见 Coulombic friction（库仑摩擦）。

extrusion welding（挤出焊接法）

一种连接工艺，将熔融的热塑性材料挤到预热接口处的沟槽里。挤出的热塑性材料填充沟槽并且冷却，将两部件焊接在一起。通常用来连接薄膜和带热塑性衬里的管材。

F

falling dart impact strength（落锤冲击强度）

见 falling weight impact energy（落重冲击能量）。

falling weight impact energy（落重冲击能量）

自由落体或投掷砝码（锤头）的平均能量，这将在 50 次直接或间接损害样品的实验后导致 50% 的失败。通过将投掷质量、重力加速度和落锤高度相乘来计算能量。也叫落体投掷冲击强度，落体重量冲击强度。

falling weight impact strength（落重冲击强度）

见 falling weight impact energy（落重冲击能量）。

far field（远场）

指的是在超声波焊接中，超声波能量从角传到接头表面的距离。当接头超过 6.4mm（0.25in）时，从触角接触元件的接触点开始，远场焊接发生。也见于近场。

FEP

见 fluorinated ethylene propylene copolymer（氟化乙烯丙烯共聚物）。

ferromagnetic material（铁磁体材料）

材料（如不锈钢和铁）在磁场中原子的磁矩和偶极距成相互平行直线排列。这种直线排列与通常的由于热运动原子的朝任意方向的取向趋势是相反的。用于感应焊接。

fiber laser（纤维激光）

一种激光，其中活性的增益介质是掺杂稀土元素的光学纤维。应用领域包括材料加工、光谱学和医学。

filler（填料）

经常用来加入到塑料中以改变它们的性能或者降低成本的材料。

fireproofing agent（防火剂）

见 flame retardant（阻燃剂）。

fixture（固定装置）

在装配时用来对正和支撑零件的一种设备，特别用于当零件具有薄壁的时候。也叫嵌套，工具嵌套。

FKM

见 fluoroelastomer（氟橡胶）。

flame retardant（阻燃剂）

一种降低材料（如塑料或纺织品）易燃性的物质。包括无机阻燃剂如三氧化锑（Sb_2O_3）和有机阻燃剂如溴化多羟基化合物。阻燃剂的机械性能根据材料和阻燃剂的属性而变化。例如，一些阻燃剂在燃烧时产生大量的焦炭，这阻止了氧气与材料和木块进一步反应燃烧。也叫防火剂。

flame treatment（火焰处理）

在粘合剂连接时，在表面处理工艺中，塑料通常是短暂地暴露在火焰中的。火焰处理氧化表面，通过自由基机制引进羟基、羰基、羧基和 4 ~ 6nm 深的胺基基团，产生分枝和某种交联。普遍用于聚乙烯、聚二缩醛和聚乙烯对苯二酸盐，火焰处理增加了防潮性和界面扩散率。

flange（凸缘）

围绕原件的边缘形成的加强材料。

flash（溢料）

焊接热塑性塑料时，在焊接过程中被挤出连接面的熔融塑料。在成型时，过剩的塑料粘附在成型的零件边上。溢料必须在零件制造完成前去除。

flash free welding（无溢料焊接）

不产生焊接溢料的焊接技术；在焊接时熔体完全被限制。也见于 bead and crevice free welding（焊珠和裂缝的自由焊接）、high performance fusion welding（高性能熔体焊接）和 flow fusion welding（流动熔体焊接）。

flexural properties（弯曲性能）

描述物理系统对弯曲应力应变的反应的性能。

flexural strength（弯曲强度）

在弯曲时，负载样本最外边纤维承受的最大压力。注意：弯曲强度是负载、支撑跨度和样本几何的一个函数。也叫抗弯强度。

flexural stress（弯曲应力）

在弯曲试验中，在给定的应变下，试样承受的最大边缘应力。最大边缘应力是负载、支撑跨度、样本宽度和深度的一个函数。它取决于在支撑件和试样几何体上施加载荷的方式。注意：弯曲应力被视为给定的应变或失效的负载、支撑跨度、样本几何的一个函数。

flow fusion welding（流动熔体焊接）

热塑性（特别是含氟聚合物）板材的无溢料焊接技术，在焊接时熔体被限制，将加热金属钢筋焊接在

连接物的上下面。也见于 flash free welding（无溢料焊接）。

fluorinated elastomer（氟橡胶）

见 fluoroelastomer（氟橡胶）。

fluorinated ethylene propylene copolymer（氟化乙烯丙烯共聚物）

由四氟乙烯和六氟丙烯共聚而得的热塑性共聚物。与聚四氟乙烯相比，它的拉伸强度、抗磨损性能、耐蠕变性有所下降。但具有良好的耐候性，较低的介电常数，低的可燃极限、摩擦系数和较高的耐化学性。这种材料在将近 204℃（400℉）可用，高于此温度时会降解，释放出有毒物质。氟化乙烯丙烯相对较低的粘度允许其通过传统成型、挤出和粉末涂覆进行加工。用途包括化学仪器和管道的衬里、容器、轴承、薄膜、涂层、电线和电缆。又叫氟化乙丙烯。

fluoro rubber（氟橡胶）

见 fluoroelastomer（氟橡胶）

fluorocarbon resin（氟碳树脂）

见 fluoropolymer（含氟聚合物）。

fluoroelastomer（氟橡胶）

应高要求应用而设计的合成弹性体。它们具有极强的耐腐蚀性液体和其他化学药品的能力，同时耐高温。典型的应用包括汽车燃料线软管、O 型环、轴密封、燃油泵、发动机油和冷却液密封件。氟橡胶可用作聚烯烃的添加剂以提高挤出性能。又叫 FKM、氟化弹性体、氟化橡胶。

fluorohydrocarbon resin（氟烃树脂）

见 fluoropolymer（含氟聚合物）。

fluoroplastic（氟塑料）

见 fluoropolymer（含氟聚合物）。

fluoropolymer（含氟聚合物）

由全部或一部分氢原子被氟原子取代的聚烯烃的热塑性塑料。表现出优异的耐化学性、耐磨性、热稳定性、抗胶粘性、耐候性和低的可燃极限。缺点包括较低的抗蠕变性、强度，加工中不易处理。含氟聚合物的性能取决于氟的含量。通过挤出和成型进行加工。应用包括化学装置、轴承、薄膜、涂料和容器。又叫氟碳树脂、氟塑料、聚氟碳、氟烃树脂。

fluorosilicone（氟硅氧烷）

部分有机部分无机的合成聚合物。其主链由硅原子和具有三氟丙基侧链氧原子交替排列构成。大多数的氟硅氧烷是橡胶。也叫氟硅橡胶。

fluorosiloxane（氟硅橡胶）

见 fluorosilicone（氟硅氧烷）。

flywheel（飞轮）

用以储存动能的转动轮。

formula weight（化学式量）

见分子量。

Fourier transform infrared spectroscopy（傅里叶变换红外光谱）

一种借助于电磁波谱红外区（波长为 0.7 ~ 50mm）的电磁能量对样品进行辐照的波谱技术。样品被红外线所有波长范围同时照射，傅里叶变换数学模型用以表征材料的吸收谱和“指纹图案谱”。红外区的分子吸收是因为分子键的旋转和振动，例如伸长和弯曲。这个技术主要用于塑料、添加剂和涂料的鉴定。又叫 FTIR。

fractional melt index resin（熔融指数分数）

热塑性塑料的熔融指数小于 1。这些树脂有较高的分子量并且难以挤出，因为与低分子量树脂相比需

要更低的速率和更大的力。这类树脂主要用于重型应用，例如管道。

free surface energy（自由表面能）

见 surface tension（表面张力）。

frequency（频率）

单位时间一个周期内完成的次数或循环数。

friction（摩擦）

在压力作用下产生的平行于两表面并阻碍其移动的力。

friction stir welding（搅拌摩擦焊接）

一种通过接口处旋转工具或叶片产生的热量来焊接的摩擦焊接技术。又叫 FSW。

friction welding（摩擦焊接）

用于热塑性塑料的焊接方法，通过摩擦向接头连接面的熔融提供所必需的热量。摩擦焊接方法包括旋转焊接、振动焊接、轨道焊接和超声波焊接。

FSW

见 friction stir welding（搅拌摩擦焊接）。

FTIR

见 Fourier transform infrared spectroscopy（傅里叶变换红外光谱）。

fusion bonding（融合接合）

见 heated tool welding（热工具焊接）。

G

gain（增益）

在超声焊接中，喇叭和升压机的输出振幅与输入振幅的比值。见 booster（升压机）。

gamma radiation（伽马辐射）

由高能质子（如由两个能级间的核转变产生）传播的电离辐射。

general purpose polystyrene（通用聚苯乙烯）

由苯乙烯均聚而成的无定形热塑性塑料。它具有良好的拉伸和弯曲强度，高透光性，足够的耐水、洗涤剂和无机化学药品性。它带有碳氢化合物，并有相对较低的抗冲击性。由注射成型和发泡挤出加工。用于制造容器、医疗保健用品如吸液管、厨房和浴室家居用品、音响和相机零件以及食品包装用泡沫板。也叫结晶聚苯乙烯、结晶 PS、GPPS。

generator（高压发生器）

一种将标准的 120/240V，50/60Hz 的线电压转换成高频电能的设备。

glass fiber（玻璃纤维）

多种短切（钉的，砍的，磨的）或连续纤维增强体。广泛用于热塑性和热固性塑料，以提高强度、尺寸稳定性、热稳定性、耐腐蚀性以及介电性能。该纤维由不同等级（电，化学，高拉伸强度）的玻璃纤维熔化制得，且由不同的丝（粗丝）复合，可以进一步通过尺寸减小、扭曲或编织成布或垫状加工。主要用于模塑化合物、喷涂成型过程、压模、铺层，以及其他层压过程。玻璃纤维通常是表面改性的（如与偶联剂）以改善与聚合物基体的粘合性或赋予特殊性能，例如介电性能（通过涂盖一层镍）。又叫玻璃无捻粗纱。

glass filler（玻璃填料）

以小珠状、空心球状、片状或捻碎的颗粒状广泛应用的填料家族。它们可以提高尺寸稳定性、抗化学性、抗水性和塑料的热稳定性。

glass mat reinforced thermoplastic（玻璃毡增强热塑性塑料）

一种由玻璃毡增强热塑性塑料基体制备的薄片状的复合材料。薄片压制模塑成硬形体。也叫 GMT。

glass roving（玻璃无捻粗纱）

见 glass fiber（玻璃纤维）。

glycol（乙二醇）

见 ethylene glycol（乙二醇）。

glycol chlorohydrin（氯乙二醇）

见 ethylene chlorohydrin（乙烯氯乙醇）。

glycol modified PET（乙二醇改性 PET）

见 glycol modified polyethylene terephthalate（乙二醇改性的聚乙烯对苯二酸盐）。

glycol modified polycyclohexylenedimethylene terephthalate（乙二醇改性聚对苯二甲酸乙二醇酯）

热塑性聚酯，由乙二醇、二甲苯二亚甲基二醇和对苯二甲酸组成的三元共聚物。具有极好的物理性能、耐化学性和清晰度。与聚碳酸酯相比，它有锯齿状的缺口强度。PCTG 能注射成型，能呈薄膜、片层和管状挤出。常与聚碳酸酯铸造成合金或是用玻璃纤维或云母填充。也叫 PCTG。

glycol modified polyethylene terephthalate（乙二醇改性的聚乙烯对苯二酸盐）

热塑性聚酯，由二甲苯二亚甲基二醇、乙二醇、对苯二酸缩聚而成。通过注射、吹塑成型，成管状、片状、层状挤出。它是无定形态、纯净的塑料，甚至在低温下都有较高的刚度、硬度和韧性。通过了 FDA 的批准。应用包括化妆品和食物的容器、包装薄膜、医用设备、设备覆盖物、机器的保护层还有玩具。也叫乙二醇改性 PET、PETG、聚二甲苯二亚甲基二醇乙烯对苯二酸盐。

GMT

见 glass mat reinforced thermoplastic（玻璃毡增强热塑性塑料）。

GPPS

见 general purpose polystyrene（通用聚苯乙烯）。

graphite fiber（石墨纤维）

见 carbon fiber（碳纤维）。

graphite filler（石墨填料）

一种粉末状的碳结晶的形式。石墨是天然的，也可以通过加热的石油焦炭、炭黑和有机材料产生。用作尼龙和含氟聚合物的润滑填料。也叫石墨、碳石墨、石墨粉、粉状石墨。

graphite powder（石墨粉）

见 graphite filler（石墨填料）。

grazing（擦伤）

见 cracking（裂纹）。

hard clays（硬质粘土）

沉积岩主要由无天然粘性的优良的粘土矿物质或其他坚实的或坚硬的粘土组成。

H

HAZ

见 heat affected zone（热影响区）。

haze（雾度）

通过塑料样本时传输光线的百分数，来自于偏离扫描仪发射出来的光束，平均 2.5°（ASTM D883）。

HDPE

见 high density polyethylene（高密度聚乙烯）。

HDT

见 heat deflection temperature（热变形温度）。

heat affected zone（热影响区）

在焊接时，零件受热影响的区域，用来熔融连接表面。热影响区域的微结构对于焊接质量来说有重要影响。也叫 HAZ。

heat deflection temperature（热变形温度）

在特定负载下材料试样（标准杆）变形一个确定角度时的分解温度。也叫拉伸热变形温度、热转变温度、HDT、负载下的挠曲温度。

heat distortion temperature（热变形温度）

见 heat deflection temperature（热变形温度）。

heat seal temperature（热封温度）

通过融合将两个或更多的薄膜或薄层结合在一起所需要的温度。

heat sealing（热封）

将热和压力同时作用于接触面积使塑料薄膜连接在一起的一种方法。

heat stability（热稳定性）

见 thermal stability（热稳定性）。

heated tool welding（热工具焊接）

使热塑性零件焊接在一起的一种方法，零件直接压在一个热盘或加热了的工具上。零件表面加热直到熔融或是到达了玻璃化转变温度。然后加热工具被移除，零件被压在一起直到冷却。加热工具可使用聚三氟乙烯涂层以减少熔体粘结。加热板用于平坦的表面，加热工具用来连接不规则的成型表面。也叫熔接焊、直接接触加热工具焊接、熔体接合、热板焊接、热靴焊接。

hermetic seal（密封）

对液体和空气及其他气体不可渗透的密封或焊接，不透气。

hexalhydrobenzene（六氢化苯）

见 cyclohexane（环己烷）。

hexamethylene（环己）

见 cyclohexane（环己烷）。

hexamethylenediamine sebacic acid polymer（环己乙二胺葵二酸）

见 nylon 610（尼龙 610）。

hexanaphthene（环己）

见 cyclohexane（环己烷）。

HF welding（HF 焊接）

见 radio frequency welding（射频焊接）。

high density polyethylene（高密度聚乙烯）

一种线性聚乙烯，密度为 0.94～0.97g/cm^3，分子量为 50000～250000，并且高度结晶。在相对低的压力和温度下，由乙烯经气相法或淤浆法共聚或缩聚而成。高密度聚乙烯具有极好的低温韧性/耐化学性，优良的介电性能和相对较高的软化温度，但是耐候性很差。通过增加多分散度来改善性能。通过挤出、吹塑、注射成型、旋转铸塑和粉末涂覆来加工。用于薄膜、涂料、房屋装修、容器、食品包装、衬垫、电缆装置、型面、管材、瓶子和玩具。也叫 HDPE、PE-HD。

high frequency welding（高频焊接）

见 radio frequency welding（射频焊接）。

high impact polystyrene（高冲击聚苯乙烯）

见 impact polystyrene（抗冲聚苯乙烯）。

high molecular weight low density polyethylene（高分子量低密度聚乙烯）

热塑性聚烯烃，具有改善的耐环境应力开裂性、耐冲击强度和耐磨损性，但是其流动特性和拉伸强度降低。也叫 HMWLDPE。

high performance fusion welding（高性能熔体焊接）

一种用于热塑性管材的无焊瘤焊接技术，在焊接过程中，电熔装置在连接点的外面，膨胀囊装在里面用来控制熔体。也叫 HPF 焊接。也见于 flash free welding（无溢料焊接）。

HIPS

见 impact polystyrene（抗冲聚苯乙烯）。

HMWLDPE

见 high molecular weight low density polyethylene（高分子量低密度聚乙烯）。

hold time（维持时间）

在焊接时，分配给熔融的塑料固化的时间长度，在工艺过程中，在反应器或其他加工容器中单个组分的停留时间。也叫保持时间。

holding load（夹持载荷）

在机械连接时，在拉伸实验中需要的负载，以把嵌件或螺钉拉出周围塑料。

holding time（保持时间）

见 hold time（维持时间）。

hoop stress（环向应力）

圆柱形材料承受内部或外部的压力时，其壁厚中的拉伸或环向应力。

horn（电极臂）

在超声波焊接时的一种声学工具，设计用来将机械振动从装配的转换器直接传递到待装配零件。也见 coupler（耦合器）。

hot air welding（热空气焊接）

见 hot gas welding（热气体焊接）。

hot bar welding（热条焊接）

一种连接热塑性薄膜和薄板的方法，加热的条被压在薄膜上来焊接。也见 heat sealing（热封）。

hot gas welding（热气体焊接）

一种连接热塑性材料的方法，零件通过焊枪中的热气（通常是空气）被软化，在软化点被连接在一起。由与零件相同的材料组成的填充棒一般用来填充和加固零件之间的裂缝。热气焊接用于热塑性零件的连接以及薄板的搭接焊。也叫热空气焊接。

hot knife sealing（热刀密封）

一种连接过程，在连接时，加热的刀片形式的工具经过连接的零件之间，将热施加于零件的密封边。然后刀片被移除，表面按压在一起几秒直到粘结牢固。

hot melt adhesive（热熔粘结剂）

一种粘结剂，用于熔融状态，在冷凝成固态后形成一个连接。通过冷却获得粘合强度，不像粘合剂通过溶剂蒸发或化学处理得到的强度。

hot plate welding（热板焊接）

见 heated tool welding（热工具焊接）。

hot shoe welding（热靴焊接）

见 heated tool welding（热工具焊接）。

hot tack strength（热粘强度）

在热封的热塑性薄膜中分离熔融密封所需要的力。它决定了薄膜热封的速率。

hot tool welding（热工具焊接）

见 heated tool welding（热工具焊接）。

HPF welding（HPF 焊接）

见 high performance fusion welding（高性能熔体焊接）。

hydraulic（液压）

液压传动、操作或控制。

hydrophilic surface（亲水表面）

具有很强的结合性能、吸收性能或吸水性的表面；一种极易被水弄潮湿的表面。吸水物质包括碳水化合物，如淀粉。

hydroxy group（羟基）

见 hydroxyl group（羟基）。

hydroxyl group（羟基）

—OH，氢原子和氧原子结合的基团，被另一个原子（如碳）的单个共价键吸引，存在于有机或无机物质分子中。它是乙醇和氢氧化物的特征基团，羟基在材料的表面通常使其羟化。羟基反应活泼，例如，它们可以很容易被醚化或酯化。

I

impact energy（冲击能）

破坏样本所需的能量，相当于冲击装置中在瞬间冲击时各冲击成员之间不同的能量，并且在样本完全打碎后这种能量仍存在。也叫冲击强度。

impact polystyrene（抗冲聚苯乙烯）

通过改性 PS 与橡胶（如聚丁橡胶）或者丁二烯共聚物形成的热塑性塑料。抗冲聚苯乙烯有很好的尺寸稳定性、高的刚度和好的低温冲击强度，但是隔离性、抗油性和耐热性差。可以通过挤出、注射、热压和结构发泡成型加工。广泛用于食品包装、厨房用品、玩具、小家电、随身用品、录音带。也叫高抗冲聚苯乙烯、HIPS、IPS 和聚苯乙烯橡胶塑料。

impact strength（抗冲击强度）

见 impact energy（冲击能）。

impedance transformer（阻抗变压器）

见 booster（升压机）。

impulse welding（脉冲焊接）

一种连接热塑性薄膜和薄板的方法，薄膜放置在两个钳口之间，至少其中之一包含电阻丝条。在这项技术中，加热和冷却都在一定压力下进行。也见于 heat sealing（热封）。

induction welding（感应焊接）

一项用于连接塑料和其他材料的技术。高频电磁能用来激发位于接头界面处的铁磁材料的分子。产生的热使周围的热塑性基质熔融，将两零件熔合在一起。也叫电磁焊接、EMA 焊接、磁感应焊接。

inertia（惯性）

物质继续保持在静止或运动状态直到有外力作用的性质。

inertia welding（惯性焊接）

在旋转焊接中旋转工具在焊接前加速到需要速度然后在焊接时不驱动的方法。

infrared welding（红外焊接）

一种用红外辐射来加热热塑性塑料部件表面直至其熔融温度的焊接方法。红外线在电磁波光谱区域中可见光和无线电波之间，波长为 1～15nm（0.00004～0.00006in）的用在红外焊接。

initial tear resistance（初始抗撕裂性）

软塑料膜或者薄板在很低的频率载荷下所需的力，通常在撕裂开始时测量值为最大应力。

injection molding（注射成型）

一种大量生产塑料件的方法，利用熔融塑料的压力流到一定形状的模型。

injection welding（注射焊接）

挤出焊接的变体，熔融的热塑性材料被注射而不是挤出到焊缝处。

insert（嵌件）

在机械连接中，一个塑料成型的完整部件包括金属、塑料或其他可以成型到塑料中的材料或在成型后压入到其位置的材料。

interference fit（过盈配合）

一种用来连接两个部件的机械连接方法，如轮毂和轴，其中轴的外径比轮毂的内径要大。过盈配合在材料中产生高应力，必须小心确定以防止超过材料的许用应力。应力松弛也可出现在过盈配合中，导致连接处随时间松弛，也叫压配。

internal friction（内摩擦）

承受变化应力的材料的机械应变能转化成热。也叫 Coulombic friction（库仑摩擦）。

iodine treatment（碘处理）

在粘合剂应用中的表面处理技术，可以使得聚合物表面的结晶从 α 形式到 β 形式，在 α 形式中 N-H 官能团平行于表面，在 β 形式中其中 Z-H 官能团与表面垂直。一般用于尼龙上，碘处理提高了表面的反应性但是被认为不会为机械联锁提供场所。

ionizing radiation dose（电离辐射量）

见 radiation dose（辐射剂量）。

ionomer（离聚物）

热塑性塑料包含电离酸群组，可以在分子链间产生离子交联。通常，只有少于 10% 的离聚物重复部分含有电离群组，而聚合电解质含有更多。这个群组的一个典型的商业代表是乙烯-甲基丙烯酸共聚物盐。在温度为 -107～82℃（-160～180℉）时离聚物提供高的弯曲和冲击韧性。它们具有优异的防刺穿和抗有机溶剂、弱酸、原油、食用油的能力，高的粘结纸和其他基材的能力，以及良好的绝缘性。许多离聚物是美国食品及药物管理局验证可用来进行食物包装的。离聚物的缺点包括差的耐候性、可燃性和高的热膨胀性。通过注射、吹塑和旋转成型，吹胀挤塑和辊冷式挤塑，挤压涂层加工。用于包装、鞋底、汽车头灯、涂膜袋、运动产品和发泡板。

IPS

见 impact polystyrene（抗冲聚苯乙烯）。

isocyanate resin（异氰酸酯树脂）

见 nonelastomeric thermosetting polyurethane（非弹性热固性聚氨酯）。

isophthalate polyester（间苯二酸酯聚酯）

一种基于间苯二酸酯酸酐的热固性不饱和聚酯。也叫异邻苯二甲酸聚酯。

isophthalic polyester（异邻苯二甲酸聚酯）

见 isophthalate polyester（间苯二酸酯聚酯）。

Izod（冲击强度）

见 Izod impact energy（冲击能）。

Izod impact energy（冲击能）

破坏 V 形切口试样所需要的能量在冲击试验机上试样的瞬间收缩能和在试样破裂后残余能之间。依照 ASTM D256 来测量。也称为冲击、冲击强度、冲击 V 形切口强度、缺口冲击强度。

Izod impact strength（冲击强度）

见 Izod impact energy（冲击能）。

Izod strength（冲击强度）

见 Izod impact energy（冲击能）。

Izod v notch impact strength（冲击 V 形切口强度）

见 Izod impact energy（冲击能）。

J

J

见 joule（焦耳）。

jig（夹具）

一种在装配或机械操作过程中用来夹持部件并引导工具的装置。

joint design（接头设计）

成型相配合的热塑性塑料零件的形状以达到想要的配合效果。

joint efficiency（接头效率）

见 weld factor（焊接系数）。

joule（焦耳）

国际单位制系统中能量的一个单位，相当于一牛顿（N）的力沿着力作用方向作用一米（m）的工作量。单位是 Nm。也叫 J。

K

ketohexamethylene（环已酮）

见 cyclohexanone（环已酮）。

ketone resin（酮树脂）

见 polyketone（聚酮）。

kinetic energy（动能）

一个物体运动时的能量。

kinetic coefficient of friction（动摩擦系数）

彼此接触的物体相对运动时摩擦力和正压力之间的比值。

L

lamella（薄层）

在塑料中，结晶型聚合物的基本形态单元。形状像薄板或绸带，接近 10nm 厚。

lap joint（搭接接头）

一种一个粘合体部分置于另一个粘合体之上的接头；重叠部分粘结在一起。

lap shear test（搭接剪切试验）

见 ASTM D1002。

laser（激光）

一种用来产生频带宽度很窄的强烈光束的装置。激光是通过辐射受激发射的光放大的首字母缩写词。

laser welding（激光焊接）

一种对热塑性塑料焊接的方法，在其中高强度的激光束用来在零件表面产生热量，引起材料的熔融和结合。

LCP

见 liquid crystal polymer（液晶聚合物）。

LDPE

见 low density polyethylene（低密度聚乙烯）。

LIM

见 reaction injection molding system（反应注射成型系统）。

LIM system（LIM 系统）

见 reaction injection molding system（反应注射成型系统）。

linear friction welding（线性摩擦焊接）

见 vibration welding（振动焊接）。

linear low density polyethylene（线性低密度聚乙烯）

乙烯和 α 烯烃例如 1-丁烯和 1-己烯的线性碳链共聚物，密度为 0.91 ~ 0.94g/cm^3，它们通过溶剂或者气相共聚作用制备。线性低密度聚乙烯有很好的拉伸、剪切和抗冲击强度和抗开裂性能，但是比低密度聚乙烯有更低的光泽。线性低密度聚乙烯通过挤出成型，比一般的聚乙烯需要更大的压力和更高的熔融温度。用作薄膜和板材和管材、电绝缘设备、包和食物包装。也叫 LLDPE。

linear polyethylenes（线性聚乙烯）

线性碳链聚烯烃。线性聚乙烯刚性大，韧性好，并有很好的抗环境开裂性和抗低温性。通过挤出和模塑成型。用来制作薄膜、包、容器、衬里、型材、管材等。也见于高密度聚乙烯，linear low density polyethylene（线性低密度聚乙烯）。

liquid crystal polyester（液晶聚酯）

见 liquid crystal polymer（液晶聚合物）。

liquid crystal polymer（液晶聚合物）

一种由高度芳香共聚酯组成的热塑性塑料，在熔融和固化状态时具有高度有序的结构。在高温下具有较高的拉伸强度和弯曲强度，以及抗化学药品性、耐候性、耐辐射性和耐烧蚀性。在高温下由烧结和注射成型加工。作为陶瓷和金属替代品用于电子设备、化工过程设备，以及航空航天、交通运输、安全产业的零件。又叫 LCP、液晶聚酯。

liquid crystalline polyester（液晶聚合物）

见 liquid crystal polymer（液晶聚合物）。

liquid crystalline polymer（液晶聚合物）

见 liquid crystal polymer（液晶聚合物）。

liquid injection molding system（液态注射成型系统）

见 reaction injection molding system（反应注射成型系统）。

LLDPE

见 linear low density polyethylene（线性低密度聚乙烯）。

locating pin（定位销）

工具中的突出部分，与待焊件上的等效的空洞相符合；在旋转连接中，用于保持构件位置和把运动有效传递给零件。又叫传动销。

long glass fiber（长玻璃纤维）

见 continuous glass fiber（连续玻璃纤维）。

low density polyethylene（低密度聚乙烯）

一种高压下由乙烯单体均聚制备的枝化热塑性碳链聚乙烯。其密度为 0.91 ~ 0.94g/cm^3。具有较高的韧性、冲击强度、柔顺性、薄膜透明性、抗化学性，较好的介电性能，较低的透水性和脆化温度。易受环境应力、气候的影响，且有较低的热稳定性。可通过挤压涂覆、注射、吹塑以及薄膜工艺加工成型；可交联。用于包装和收缩薄膜、包、层压制品、玩具、瓶盖、绝缘电缆和涂层。又叫 LDPE。

M

magnetic induction welding（磁感应焊接）

见 induction welding（感应焊接）。

manifold（多歧管）

具有几个排放孔的中空元件（用途如用于分散引擎周围的空气）。

marking（划痕）

在零件装配时，塑料制品的划伤和损伤，对制品外观不利。

mass density（质量密度）

见密度。

mass spectrometry（质谱分析法）

一种基于将物质分子的离子流或分子片段穿过磁场的方法。目的是得到根据微粒的荷质比的分离。

maximum diametral interference（最大径干涉）

在干扰设计中，对于一特定毂和轴来说的最大允许干扰量，轴直径的单位测量量。最大径干涉取决于毂及轴处所用材料的种类及轴直径与毂外径的比。它被确定以确保干涉中的环向应力不会超过在设计中使用材料的许用应力。

MDPE

见 medium density polyethylene（中密度聚乙烯）。

mechanical fastening（机械链接）

一种利用紧固件（如机械螺钉、自攻螺钉、嵌件、螺母和螺栓）或联锁结构（如搭扣配合中与部件直接成型）来连接塑料与金属的方法。

mechanical properties（力学性能）

用以描述物理系统在应力应变下的反应的性能。

mechanical strain（机械应变）

见 strain（应变）。

medium density polyethylene（中密度聚乙烯）

密度范围在 0.926 ~ 0.940g/cm^3 内定义的聚乙烯种类。因此，它具有比高密度聚乙烯低的密度。中密度聚乙烯可以由铬/硅催化剂或者齐格勒纳塔（Ziegler-Natta）催化剂或者茂金属制备。主要用于压力管道。

也叫 MDPE。

medium glass fiber（中玻璃纤维）

见 chopped glass fiber（短切玻璃纤维）。

megarad（兆拉德）

1rad 等于 1kg 物质吸收 0.01J 的能量。1Mrad 等于 10^6rad。

MEK

见 butanone（丁酮）。

MEK peroxide（甲乙酮过氧化物）

见 methyl ethyl ketone peroxide（过氧化甲乙酮）。

melt flow index（熔体流动指数）

见 melt index（熔融指数）。

melt flow rate（熔体流动速率）

见 melt index（熔融指数）。

melt index（熔融指数）

热塑性塑料在 190℃（374℉）承受 2.16kgf（4.76lbf）的力下，熔体在 10min 内通过 2.1mm 直径孔的重量值，以 g 为单位。该测试是采用 ASTM D1238 中介绍的挤出流变仪进行的。又叫基树脂熔融指数、熔体流动指数、MFI、MFR、MI。

methanol（甲醇）

见 methyl alcohol（甲醇）。

methyl acrylate ethylene polymer（甲基丙烯酸乙烯聚合物）

见 ethylene methyl acrylate copolymer（乙烯丙烯酸甲酯共聚物）。

methyl alcohol（甲醇）

CH_3OH，一种脂肪族醇。无色，易挥发，易燃液体。自燃点为 464℃（867℉）。由一氧化碳催化加氢，天然气氧化或木材气化获得。用作燃料、纤维素或其他树脂，以及甲醛和蛋白质的有机合成制备中的溶剂。

methylbenzene（甲苯）

见 toluene（甲苯）。

methylene chloride（二氯甲烷）

见 dichloromethane（二氯甲烷）。

methyl ethyl ketone（甲基乙基酮）

见 butanone（丁酮）。

methyl ethyl ketone peroxide（过氧化甲乙酮）

$C_8H_{16}O_4$，一种无色液体。强氧化剂，对皮肤和组织有刺激性。其空气中阈值为 $0.2\times10^{-4}\%$（上限水平）。与有机材料接触会有起火危险。作为玻璃纤维增强塑料及丙烯酸树脂制备中的硬化剂。又叫过氧化甲基乙基酮、MEK 过氧化物。

methyl methacrylate（甲基丙烯酸甲酯）

$CH_2{=\!=}C(CH_3)COOCH_3$，一种无色挥发性液体。熔点为 -48.2℃（-54.8℉），沸点为 101℃（214℉）。溶于几乎所有有机溶剂，微溶于水。易在光、热、离子自由基和化学催化剂下聚合；可与其他甲基丙烯酸酯或其他单体共聚。其空气中阈值为 $100\times10^{-4}\%$。易燃，空气中爆炸极限为 2.1%～12.5%。由叔丁醇氧化制得。先经丙烯醛得甲基丙烯酸，然后与甲醇反应。或由甲醇、丙酮氰醇和硫酸反应。

methyl methacrylate-butadiene-styrene terpolymer（甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物）

一种由甲基丙烯酸甲酯、丁二烯和苯乙烯共聚得到的热塑性塑料。又叫丁二烯-苯乙烯-甲基丙烯酸甲

酯聚合物、苯乙烯-甲基丙烯酸甲酯-丁二烯聚合物。

methyl methacrylate terpolymer（甲基丙烯酸甲酯共聚物）

一种包括甲基丙烯酸和其他两种不饱和单体共聚形成的热塑性塑料。又叫 MMA 共聚物。

methylene chloride（二氯甲烷）

见 dichloromethane（二氯甲烷）。

methylene dichloride（二氯甲烷）

见 dichloromethane（二氯甲烷）。

methylphenylpolysiloxane（甲基苯基聚硅氧烷）

见 methylphenylsilicone（甲基苯基聚硅氧烷）。

methylphenylsilicone（甲基苯基聚硅氧烷）

由硅氧烷主链和侧链苯基和甲基团构成的热固性弹性体。苯基的存在提高了材料的耐高温性、耐氧化性、耐辐射性，并提高与有机材料的相容性。可作为塑料添加剂或聚酯涂料的流动性控制剂。

methylpolysiloxane（甲基聚硅氧烷）

见 methylsilicone（聚甲基硅酮）。

methylsilicone（聚甲基硅酮）

由硅氧烷主链和甲基侧链构成的热固性弹性体。表现出优异的热稳定性和良好的热稳定性。应用包括电绝缘、隔热漆、清漆、保护和装饰饰面。又叫甲基聚硅氧烷。

methylvinylfluoropolysiloxane（甲基乙基氟聚硅氧烷）

见 methylvinylfluorosilicone（甲基乙基氟聚硅氧烷）。

methylvinylfluorosilicone（甲基乙基氟聚硅氧烷）

由硅氧烷主链和侧链乙基、甲基、氟基构成的热固性弹性体。由于乙基的存在使其可能硫化产生高度交联。通常用于遇到高温和低温时的情况，以及有抗燃料和油的需要时。

methylvinylpolysiloxane（甲基甲乙基聚硅氧烷）

见 methylvinylsilicone（甲基乙基聚硅氧烷）。

methylvinylsilicone（甲基乙基聚硅氧烷）

由硅氧烷主链和侧链甲基、乙基构成的热固性弹性体。由于乙基的存在使其可能硫化产生高度交联。多用于密封胶、密封材料、建筑涂料、汽车电缆、垫圈、自动贩卖机管材、压敏胶、电绝缘胶带、遮护胶带。又叫甲乙基聚硅氧烷。

methylvinylsilicone methylvinylfluorosilicone alloy（甲基乙基聚硅氧烷-甲基乙基氟聚硅氧烷合金）

由甲基乙基聚硅氧烷和甲基乙基氟聚硅氧烷合金构成的热固性弹性体。

MFI

见 melt index（熔融指数）。

MFR

见 melt index（熔融指数）。

MI

见 melt index（熔融指数）。

micron（微米）

一个长度单位，等于 10^{-6}m。其符号为 μm。

microwave welding（微波焊接）

一种产生很高频率电磁辐射的焊接方法，频率通常为 2 ~ 10GHz，用来加热放在接缝处的材料。从感应器中产生热来加热焊缝处的材料至熔融，冷却后形成焊缝。

microprocessor controlled（微处理控制器控制）

通过电脑来控制焊接参数的设备。

migration（迁移）

一种物质传输过程，其中物质缓慢而自发地从一个地方移动到另一个地方。在塑料和涂层，色料、填料和其他成分通过扩散或流动到表面或通过接触面迁移到其他物料中，导致如开裂、粉化、溢流、渗色等缺陷。

milled glass fiber（磨碎玻璃纤维）

见 milled glass filler（磨碎玻璃填料）。

milled glass filler（磨碎玻璃填料）

用锤式粉碎机粉碎玻璃原丝。作为粘合剂和塑料的防裂加强填料。也叫磨碎玻璃纤维。

mineral filler（矿物填料）

无机填料有石头和精细矿石。一些填料，即所谓的商品矿物，相对来说价格便宜，经常作为填充剂，一个好的例子就是石灰石；其他填料，即所谓的专用矿物填料，通常是增强剂。它们本质上都是小颗粒尺寸的填料，例如滑石和表面化学改性填料。

MMA terpolymer（MMA 三元共聚物）

见 methyl methacrylate terpolymer（甲基丙烯酸甲酯共聚物）。

modified polyphenylene ether（改性聚苯醚）

见 modified polyphenylene oxide（改性聚苯醚）。

modified polyphenylene oxide（改性聚苯醚）

含有聚苯乙烯的热塑性聚苯醚合金，通常是高冲击性的聚苯乙烯。这种合金与聚苯乙烯相比，有很高的冲击强度和很强的抗热性、抗火性和抗化学性，但是可以被有机溶剂溶解。通过注射、挤出和结构发泡成型加工。用于汽车部件、通信设备等。也叫改性 PPE、改性 PPO、MPO。

modified polyphenylene oxide nylon 6 alloy（改性聚苯醚尼龙 6 合金）

改性聚苯醚和尼龙 6 的热塑性合金。

modified polyphenylene ether（改性聚苯醚）

见 modified polyphenylene oxide（改性聚苯醚）。

modified PPE（改性 PPE）

见 modified polyphenylene oxide（改性聚苯醚）。

modified PPO（改性 PPO）

见 modified polyphenylene oxide（改性聚苯醚）。

modulus of elasticity（弹性模量）

在比例限界以下的弹性材料的单位应力与单位形变的比。它对材料的刚度进行了描述。也叫弹性常数。

molded threaded fastener（模内螺纹紧固件）

一种固定件或者嵌件，通常是金属的，在成型过程中嵌入到零件中。外表面是可以光滑的、滚花的或沟槽，内表面有螺纹以允许机用螺钉的嵌入。

molded-in insert（模内嵌入）

一种机械连接方法，其中嵌件通常是金属的，模塑到其中一个待连接的零件中。嵌件在内部攻螺纹以便于接受机用螺钉，嵌件外表面的滚花或沟槽提供了拉出和旋转阻力。模内嵌件使嵌件周围的材料产生了高应力。

molded-in thread（模内螺纹）

一种机械装配方法，其中内外螺纹都模塑在塑件中。

molecular weight（分子量）

分子量是分子中各原子的相对原子质量的总和。也叫平均分子质量、相对分子质量、MW。

MPO

见 modified polyphenylene oxide（改性聚苯醚）。

Mrad

见 megarad（兆拉德）。

multilayer film（多层膜）

一层热塑性膜，由两个或更多的不同或相似的膜连接在一起组成（如通过共挤出或层压）以获得传统薄膜不具有的特殊性能。

MW

见 molecular weight（分子量）。

N

N，N-dimethylformamide（N，N-二甲基甲酰胺）

$HCON(CH_3)_2$，一种透明的液体，沸点是 152.8℃（307.0℉）。一种两极，非质子溶剂，可以与水和除了卤代烃外的有机溶剂相溶。其自燃温度为 445℃（833℉）。它在空气中的最低限值是 $10\times10^{-4}\%$；皮肤吸收有毒性。由甲酸甲酯和二甲胺反应得到。用作乙烯树脂、乙炔、丁二烯和酸性气体的溶剂，在聚丙烯酸纤维和有机合成物中作为气体的载体。也叫 DMF。

N-methyl-2-pyrrolidone（N-甲基-2-吡咯烷酮）

C_5H_9NO，一种无色、易燃的液体，带有胺样嗅，沸点是 202℃（396℉）。可以溶于水、蓖麻油和各种有机溶剂。由乙炔和甲醛在高压下反应得到。用作石油、乙炔和树脂的溶剂，聚氯乙烯纺织品，色料分散剂和化学介质。也叫 NMP。

nanometer（纳米）

一种长度单位，数量级是 10^{-9}m。通常用来表示射线的波长，通常是紫外线和可见光区。符号为 nm。

NBR

见 nitrile rubber（丁腈橡胶）。

Nd：YAG laser（Nd：YAG 激光）

用钕镱铝石榴石晶体作为激光介质的激光。它在光学上用灯管或激光二极管泵送，发出的典型的光波长为 1064nm。

near field（近场）

涉及超声波焊接过程中超声波能量从电极臂传递到焊缝界面的距离。在接头为 6.4mm（0.25in）或更少时，进场焊接出现在电极臂接触零件的那一点，也见于远场。

neoprene（氯丁橡胶）

见 neoprene rubber（氯丁橡胶）。

neoprene rubber（氯丁橡胶）

氯丁二烯聚合物合成橡胶的总称。它们因优良的耐油性、耐溶剂性、耐热性、耐光性、耐臭氧性、耐候性而知名。大多数类型不用硫黄就可以和韧性产品进行硫化。也叫氯丁二烯橡胶。

nest（嵌套）

见 fixture（固定装置）。

nitrile rubber（丁腈橡胶）

无规聚合丙烯腈和丁二烯通过自由基催化作用合成的一种合成橡胶。共聚物取决于丁烷和聚丙烯酸的比例和门尼粘度。典型的特性如下：拉伸强度为 7～20MPa（1000～3000psi），延伸率为 100%，最大保持温度为 121～148℃（250～298℉）。另外，它们耐油、溶剂和酯，并且耐热和耐磨损。通常用途包括耐油应用、鞋底、垫圈、燃料软管、包装油密封、液压设备和粘合剂。也叫 NBR。

nm

见 nanometer（纳米）。

NMP

见 N-methyl-2-pyrrolidone（N-甲基-2-吡咯烷酮）。

nodal point（节点）

在超声波焊接时的升压器或电极臂中，在这点处很少或没有线性运动发生。

noncontact heated tool welding（非接触加热工具焊接）

红外焊接的一种形式，其中零件靠近加热工具但不直接与其接触。热量通过辐射和对流来转移到零件表面。当熔融发生时加热工具要移开，然后零件被压在一起冷却和固化。当高熔融温度下禁止使用不粘涂层在加热工具表面时用于高温聚合物。也见于 heated tool welding（热工具焊接）、红外焊接。

nonelastomeric thermoplastic polyurethane（非弹性热塑性聚氨酯）

聚亚胺酯多元醇聚合物不是化学交联的。它们具有高的耐磨性，低温下良好的保持性，但是有很差的耐热性、耐候性和耐溶剂性。非弹性热塑性聚氨酯是可燃的，并且用有毒物质（异氰酸盐）制造。通过注射和挤出成型加工。也叫刚性热塑性聚氨酯、刚性热塑性脲烷、RTPU、TPUR。也见于 polyurethane（聚氨酯）。

nonelastomeric thermosetting polyurethane（非弹性热固性聚氨酯）

脲烷树脂是热固性塑料，由聚异氰酸酯多元醇树脂在中等温度或室温下以催化剂形式出现固化的单体混合物组成。树脂可以发泡。固化的树脂有广泛的特性，包括高的耐磨性，好的低温保持性，但是有很差的耐热性、耐候性和耐溶剂性。非弹性热固性聚氨酯是可燃的，并且用有毒物质（异氰酸盐）制造。可以通过注射成型、各种发泡技术、铸造和涂覆加工。广泛用于热绝缘、机械部件、陶瓷制造、包装、电表箱和汽车覆盖件。也叫异氰酸酯树脂、PUR、脲烷树脂。

nonpolar（非极性）

在分子结构中，正负电荷可同时充电。大多数碳氢化合物（如聚烯烃）是非极性的。

notch effect（缺口效应）

样品缺口的影响或它的几何形状对测试结果的影响，如塑料的冲击强度实验中，缺口导致局部应力产生，并加速静态和循环试验的失效（机械裂纹，臭氧裂纹等）。

notched Izod impact strength（缺口冲击强度）

见 Izod impact energy（冲击能）。

notched Izod strength（缺口强度）

见 Izod impact energy（冲击能）。

nylon（尼龙）

热塑性塑料，主要是由脂肪族聚酰胺制备或者由二元羧酸和二元胺聚合而成，也可以由氨酸的聚合或者内酰胺的开环聚合制得。尼龙具有良好的抗溶剂性、抗基质性、抗油性、抗冲击性、抗磨损性和抗蠕变性。它们同样具有较高的拉伸强度和不透气性，以及较低的摩擦系数。缺点包括高润湿性，易光降解，以及高度模收缩性。通过注射、吹塑、旋转、挤出成型以及粉末涂覆加工。用途包括汽车部件、电子设备（如插头插座）、机械部件（如齿轮和泵）、器械和动力工具的外壳、导线和电缆的外套、管道、薄膜、纤维。也见于聚酰胺。

nylon 11（尼龙 11）

一种由氨基十一烷酸缩聚制得的脂肪族聚酰胺热塑性聚合物。它具有良好的抗冲击强度、硬度以及耐磨性。尼龙 11 的低吸水性使其具有高度的尺寸稳定性。尼龙 11 的其他的机械性能比其他绝大多数种类的尼龙要低。尼龙 11 相对较低的熔点使得其除了可以通过挤出和传统模塑外，还可以通过粉末涂覆和旋转成型进行加工。用途包括导线和光缆的绝缘层、管材、机械部件、型材、轴承以及涂层。也叫 PA11、聚酰胺 11、聚氨基十一烷酸。

nylon 12（尼龙 12）

一种由十二内酰胺（酮的聚合物）开环缩聚合制备的脂肪族聚酰胺热塑性聚合物。它具有良好的抗冲击性、硬度、耐磨性和尺寸稳定性。它的吸水性和密度在尼龙中最低。尼龙 12 的其他机械性能稍差。尼龙 12 可以经过粉末涂覆和旋转成型加工，也可以由挤出和传统模塑方法加工。用途包括运动器材、汽车部件以及机械部件。也叫 PA12、聚酰胺 12、polyazacyclotridecanone。

nylon 46（尼龙 46）

由 1，4-丁二胺和脂肪酸缩聚制得的热塑性聚酰胺。也叫己内酰胺吡咯烷酮聚合物、PA46、聚酰胺 46、聚四甲基乙二胺。

nylon 6（尼龙 6）

一种由五己内酰胺的开环缩聚制得的脂肪族聚酰胺热塑性聚合物。尼龙 6 的机械性能与尼龙 66 相似，但是其吸湿更迅速，随着水分含量的增加和温度升高，强度下降得很快。尼龙 6 的熔点更低，比尼龙 66 更软。尼龙 6 具有良好的焊接性。可以通过注射、吹塑、旋转和挤出成型加工。用于织物纤维、轮胎帘布和模型制品，如机械部件。也叫 PA6、聚酰胺 6、聚己内酰胺。

nylon 610（尼龙 610）

一种由乙烯二胺和癸二酸缩聚制得的脂肪族聚酰胺热塑性聚合物。它的熔点和吸水性比尼龙 66 和尼龙 6 都要低。它在潮湿环境下保持硬度和机械性能的能力比尼龙 66 强。可以通过注射成型和挤出成型加工。可用做油漆刷子的单丝。也叫乙烯二胺癸二酸聚合物、PA610、聚酰胺 610、聚环己癸二氨基聚合物。

nylon 612（尼龙 612）

一种由 1，12-十二烷酸和乙烯二胺缩聚而成的脂肪族聚酰胺热塑性聚合物。尼龙 612 具有良好的尺寸稳定性和较低的吸湿性。它的物理和机械性能在不同的湿度下可以保持稳定。可通过注射和挤出成型加工。用途包括电导线外套、电缆绝缘层、包覆涂层、毛刷、套管和外壳。也叫十二烷酸乙烯二胺聚合物、PA612、聚酰胺 612。

nylon 66（尼龙 66）

一种由脂肪酸和乙烯二胺缩聚而成的脂肪族聚酰胺热塑性聚合物。它具有较高的拉伸强度、弹性、韧性和耐磨性。尼龙 66 具有良好的抗溶剂性，但是耐候性差，高温下褪色。在 149℃（300℉）的温度下仍保持良好的机械性能。尼龙 66 的耐湿性能中等；润湿行为类似增塑剂，会增加聚合物的韧性和表面粗糙度。它可以通过注射成型和挤出加工。主要应用包括织物纤维、自润滑轴承和齿轮、滚筒、弹簧锁。由于其极化效应，使得电学应用限制在导线包膜方面。也叫脂肪酸己二胺聚合物、PA66、聚酰胺 66、聚己烯二胺。

nylon 666（尼龙 666）

一种脂肪酸-己内酰胺-己烯二胺热塑性聚合物。强度高，韧性高，摩擦系数低，耐磨性和抗疲劳性能好，电绝缘性良好，吸湿性相对较高，尺寸稳定性较低。可通过注射和挤出成型加工。应用于运输工具、电学和工业场合中。也叫 PA666、聚酰胺 666。

nylon 6/3T（尼龙 6/3T）

一种无定形聚酰胺，由（摩尔分数）50% 的 1，4-苯二酸二甲酯和 50% 的 2，2，4-三甲基-1，6-己二胺和 2，4，4-三甲基-1，6-己二胺的混合物缩合而成。具有高透明性和低模压收缩率、低变形性、良好的抗

化学药品性。用于高压交流电设备、电池密封、管道封口、液态级指示灯和截止阀。也叫 PA6/3T、聚酰胺 6/3T。

nylon MXD6（尼龙 MXD6）

一种聚-m-亚二甲苯基己二酸热塑性聚合物，断裂伸长率比尼龙 6 和尼龙 66 低，熔融粘度低，弯曲强度高，模量高。抗碱性和水解。也叫 PAMXD6、聚酰胺 MXD6、聚亚二甲苯基己二酸。

O

oil-canning（油罐式变动）

见 diaphragmming（隔膜）。

olefinic plastic（烯烃族塑料）

见 polyolefin（聚烯烃）。

olefinic resin（烯烃族树脂）

见 polyolefin（聚烯烃）。

olefinic thermoplastic elastomer（烯烃族热塑性弹性体）

通常由 EPDM 混合物或 EPR 橡胶与聚丙烯或聚乙烯混合而成，有时会有交联。它们具有较低的密度，对弱酸、基质和极性溶剂抵抗性强，电绝缘性能好，机械性能普遍较好，加工性能和重复加工性能良好。缺点是耐油性、耐燃性很差。混合材料在升温过程中具有低的压缩永久形变，交联材料具有良好的压缩永久形变但是花费多。可通过挤出、注射、吹塑、热压成型和混炼加工。应用包括汽车部件、建筑材料（如挡风雨条）、导线和电缆绝缘层、运动器械等。也叫烯族热塑性橡胶、烯族 TPE、聚石蜡热塑性橡胶、TEO、热塑性石蜡橡胶、热塑性聚石蜡橡胶、TPO。

olefinic thermoplastic rubber（烯烃族热塑性橡胶）

见 olefinic thermoplastic elastomer（烯烃族热塑性弹性体）。

olefinic TPE（烯族 TPE）

见 olefinic thermoplastic elastomer（烯烃族热塑性弹性体）。

one-part adhesive（单组分粘合剂）

一种不需要单独硬化剂或催化剂来粘结的粘合剂。单组分粘合剂的类型包括 UV 固化剂、固化剂、乳胶、溶剂和活性水。UV 固化粘合剂只能应用在紫外光下；其他固化单组分粘合剂包含有完整催化剂或者一定程度潜在的硬化剂，因此在室温下或在加热条件下固化都是可能的。这些固化粘合剂必须在储藏室冷藏，并且会出现不可预期的固化行为；例如液体环氧和双氰胺硬化剂、需要在氧气和适当湿度的条件下才能被活化的需氧粘合剂、或者是需要适当湿度才能被活化的硅粘合剂。乳液粘合剂是分散在水相中的热塑性聚合物或弹性体，如乙酸乙烯酯和乙烯的共聚物；基体之一必须具有渗透性，使得水分子能从系统中脱离，溶剂粘合剂是溶液或者是在有机溶液或水溶液中的热塑性体或弹性体的相。水活化粘合剂基于淀粉、纤维素、蛋白质，都是干燥的粉末，需要与水混合才能活化；当水散失后，粘合剂的强度增强，因此基质之一必须具有渗透性。也见于 two-part adhesive（双组分粘合剂）。

optical properties（光学性能）

材料或介质对光或其他穿过它的电磁波的影响，例如吸收、折射等。

orbital welding（轨道焊接）

在压力作用下，使两组分接触，使一个组分的表面的每个活性点与另一静止组分的不同活性点反应，依次重复，使界面热熔。也见于 vibration welding（振动焊接）。

orientation（取向）

对人造纤维或热塑性薄膜的牵引或拉伸过程，使聚合物分子在拉伸方向取向。纤维被轴向拉伸，膜既

可被轴向拉伸，也可被二维拉伸（通常是纵向拉伸或者同时纵向和横向拉伸）。取向的纤维和膜的机械性能增强。膜经再次加热到拉伸温度后，会在拉伸方向上回缩。

orthophthalate polyester（正色性的聚酯）

一种基于o-邻苯二甲酸酸酐的热固性不饱和的弹性体。也叫感光聚酯。

orthophthalic polyester（感光聚酯）

见 orthophthalate polyester（正色性的聚酯）。

oven stability（炉稳定性）

见 thermal stability（热稳定性）。

overwelding（过焊）

焊接过程中在焊接点过度加热，通常导致过多的焊瘤产生。

oxirane（环氧乙烷）

见 ethylene oxide（氧化乙烯）。

P

PA

见 polyamide（聚酰胺）。

Pa

见 pascal（帕斯卡）。

PA 11

见 nylon 11（尼龙 11）。

PA 12

见 nylon 12（尼龙 12）。

PA 46

见 nylon 46（尼龙 46）。

PA 6

见 nylon 6（尼龙 6）。

PA 610

见 nylon 610（尼龙 610）。

PA 612

见 nylon 612（尼龙 612）。

PA 66

见尼龙 66。

PA 666

见 nylon 666（尼龙 666）。

PA 6/3T

见 nylon 6/3T（尼龙 6/3T）。

PABM

见 polyaminobismaleimide（聚氨双马来酰亚胺）。

PAI

见 polyamide-imide（聚酰胺-酰亚胺）。

PANI

见 polyaniline（聚苯胺）。

PARA

见 polyarylamide（聚芳基酰胺）。

parent material（原材料）

未焊接的组分料。

particulate filler（颗粒填料）

以小颗粒的形式添加在塑料中的材料，以改变其物理性能、机械性能、热性能、电学性能或其他性能，也可降低成本。有时指的是无机物，而不是玻璃颗粒。

part shrinkage（部分收缩）

在模塑或焊接过程（如固化过程）后，原件尺寸的减少。

parts per hundred（百分率）

浓度的相对单位，每 100 份其他物质中某种基质的份数。可以由重量、体积、数量或其他任何合适的量度来表示。常用来表示掺合物或混合物中的组成，如塑料是从微量成分来看，增塑剂是指每 100 份树脂中才有 1 份。

parts per hundred million（亿分率）

浓度的相关概念，每亿份物质中所占的份数。可以由重量、体积、数量或其他任何合适的量度来表示。通常用来表示介质（如空气）中非常低浓度的含量，如杂质和毒素的含量。也叫 pphm。

parts per million（百万分率）

浓度的相关概念，每一百万份物质或基质中所占的份数，也叫 ppm。

parylene（聚对二甲苯）

热塑性塑料，由对二甲苯的蒸气聚合制得。热的对二甲苯蒸气经冷却凝结成单体，将其熔融，在纸张或织物等基体上涂上均匀的薄层。

pascal（帕斯卡）

一种测量压力的国际单位，相当于 1N 的力作用在 $1m^2$ 的面积上的值。用来表示气压、水蒸气压、液压以及固体强度。

PBT

见 polybutylene terephthalate（聚对苯二甲酸丁二酯）。

PBTR

见 polybutylene terephthalate（聚对苯二甲酸丁二酯）。

PC

见 polycarbonate（聚碳酸酯）。

PCM

见 polymer coated material joining（高分子涂层材料连接）。

PCT

见 polycyclohexylenedimethylene terephthalate（聚对苯二甲酸环己二亚甲酯）。

PCTFE

见 polychlorotrifluoroethylene（聚氯三氟乙烯）。

PCTG

见 glycol modified polycyclohexylenedimethylene terephthalate（乙二醇改性聚对苯二甲酸乙二醇酯）。

PDAP

见 diallyl phthalate（己二烯钛酸酯）。

PDMS

见 polydimethylsiloxane（聚二甲硅氧烷）。

PE

见 polyethylene（聚乙烯）。

PE-HD

见 high density polyethylene（高密度聚乙烯）。

PEI

见 polyetherimide（聚醚酰亚胺）。

PEK

见 polyetherketone（聚醚酮）。

PEKEKK

见 polyetherketoneetherketoneketone（聚醚酮醚酮酮）。

PEKK

见 polyetherketoneketone（聚醚酮酮）。

PEN

见 polyethylene naphthalate（聚萘二甲酸乙二醇酯）。

perchloromethane（四氯甲烷）

见 carbon tetrachloride（四氯化碳）。

perfluoroalkoxy resin（过氟烷氧基树脂）

由氟代乙烯聚合而成的热塑性塑料。此材料有比氟代乙烯氟代丙烯共聚物更高的使用温度上限（260℃，即 500℉），在抗化学试剂方面与聚四氟乙烯相似。它具有较低的压缩和拉伸强度，抗蠕变性比其他氟代聚合物要高。容易通过模塑、挤出、旋转成型和粉末涂覆加工。用做膜、涂层、管道、容器和设备的衬里。也叫氟乙烯、PFA、聚氟代乙烯。

perfluoroalkoxyalkane（氟代烷氧基烷烃）

见 perfluoroalkoxy resin（过氟烷氧基树脂）。

permittivity loss factor（介电常数损耗因数）

见 dielectric dissipation factor（介质损耗因子）。

PES

见 polyethersulfone（聚醚砜）。

PET

见 polyethylene terephthalate（聚对苯二甲酸乙二醇酯）。

PETE

见 polyethylene terephthalate（聚对苯二甲酸乙二醇酯）。

PETG

见 glycol modified polyethylene terephthalate（乙二醇改性的聚乙烯对苯二酸盐）。

PEX

见 cross-linked polyethylene（交联聚乙烯）。

PF

见 phenolic resin（酚醛树脂）。

PFA

见 perfluoroalkoxy resin（过氟烷氧基树脂）。

phenol formaldehyde resin（酚醛树脂）

见 phenolic resin（酚醛树脂）。

phenolic（酚醛树脂）

见 phenolic resin（酚醛树脂）。

phenolic resin（酚醛树脂）

热固性塑料，由酚类与比反应计量数多或少的醛类（如甲醛）反应制备，在酸性催化剂的作用下，得到酚醛树脂。该树脂可溶，可以进行热固化。酚醛树脂需要两种不同功能的交联剂，通常是二元胺来固化。非固化树脂和部分固化的树脂用做涂层、粘合剂、灌注混合物和粘结料。固化树脂具有良好的电绝缘性、硬度、热稳定性、刚度以及压缩强度，但是其抗基质性、抗氧化性、抗深色性较差。填充的或增强的酚醛粉末可以通过压缩、转换、注射和挤出成型加工。成品用途包括把手、电气设备和汽车部件等。也叫 PF、苯酚甲醛树脂。

phenylethylene（苯乙烯）

见 styrene（苯乙烯）。

phenylmethane（苯甲烷）

见 toluene（苯甲烷）。

physical adsorption（物理吸附）

见 adsorption（吸附）。

PI

见 polyimide（聚酰亚胺）。

piezoelectric material（压电材料）

一种材料，当对其施加电压时尺寸发生改变，或者当变形时会产生电压（电势），例如陶瓷材料。用来将机械能转化为电能，反之亦然。

pimelic ketone（环己酮）

见 cyclohexanone（环己酮）。

pitch diameter（节圆直径）

螺纹最大（外部）和最小（根部）直径的平均值。对于实际用途来说，假设这个直径等于车螺纹之前平滑轴的直径。

PLA

见 polylactic acid（聚乳酸）。

plasma arc treatment（等离子弧处理）

一种在使用溶剂或粘合剂之前的零件表面处理方法，在低应力下，气体氛围中两个电极间的电流会激发气体组分，产生自由基。杂质从零件表面清除，通过减小接触角增加润湿度。也叫等离子去除、等离子处理。也见于 corona discharge treatment（电晕放电处理）。

plasma discharge（等离子体放电）

见 plasma arc treatment（等离子弧处理）。

plasma treatment（等离子体处理）

见 plasma arc treatment（等离子弧处理）。

plastic（塑料）

一系列人造或天然合成聚合产物的统称，由单体原料以合成或缩合反应聚合而成，并可能包含其他物

质以增加性能或降低成本。也见于聚合物。

plasticizer（增塑剂）

一种物质添加到材料（如塑料或橡胶）中通过溶剂化、调节润滑性或降低分子量以提高它的柔性、加工性或韧性。增塑剂可以降低熔融粘度，促进流动性，增加材料的低温恢复力。大多数增塑剂是挥发性低的有机液体或低熔点的固体，如二辛基酞酸盐或硬脂酸。它们应当没有渗透性、毒性并且与材料相容性良好。有时增塑剂也同时用作稳定剂和交联剂。

plumbago（石墨）

见 graphite filler（石墨填料）。

PMMA

见 polymethyl methacrylate（聚甲基丙烯酸甲酯）。

PMP

见 polymethylpentene（聚甲基戊烯）。

pneumatic（气动的）

空气驱动、操作、或控制的。

polar（极性）

在分子结构中，分子的正、负电荷中心处于长期分离状态。极性分子在溶液中电离，使得溶液具有导电性。水、酒精、硫酸是极性分子；羧基和羟基是极性官能团。

polyacrylate（聚丙烯酸酯）

见 acrylic resin（丙烯酸树脂）。

polyallomer（异质同晶聚合物）

乙烯、丙烯的结晶性热塑性嵌段共聚物，有时是其他不饱和单体。通过阴离子共聚得到，具有较高的抗冲击强度、低密度和低抗挠寿命。

polyamide（聚酰胺）

热塑性聚合物，通常由乙二酸和二胺聚合而成，也可以由氨基酸聚合或内酰胺的开环聚合制备。由于主干酰胺基的存在，聚酰胺既可以看做芳香族化合物（芳香族聚酰酪），又可以看做脂肪族化合物（尼龙）。机械性能突出，抗化学试剂性和耐磨性都较好。可通过挤出成型加工。用做增强、织物纤维、机械部件和涂料。也叫 PA、聚酰胺塑料、聚酰胺树脂。也见于 aromatic polyamide（芳香族聚酰胺）、尼龙。

polyamide 11（聚酰胺 11）

见 nylon 11（尼龙 11）。

polyamide 12（聚酰胺 12）

见 nylon 12（尼龙 12）。

polyamide 46（聚酰胺 46）

见 nylon 46（尼龙 46）。

polyamide 6（聚酰胺 6）

见尼龙 6。

polyamide 610（聚酰胺 610）

见 nylon 610（尼龙 610）。

polyamide 612（聚酰胺 612）

见 nylon 612（尼龙 612）。

polyamide 66（聚酰胺 66）

见尼龙 66。

polyamide 666（聚酰胺 666）

见 nylon 666（尼龙 666）。

polyamide 6/3T（聚酰胺 6/3T）

见 nylon 6/3T（尼龙 6/3T）。

polyamide plastic（聚酰胺塑料）

见 polyamide（聚酰胺）。

polyamide polyimide（聚酰胺聚酰亚胺）

见 polyamide-imide（聚酰胺-酰亚胺）。

polyamide resin（聚酰胺树脂）

见 polyamide（聚酰胺）。

polyamide thermoplastic elastomer（聚酰胺热塑性弹性体）

这些热塑性弹性体主要包括软段的聚醚和硬段的聚酰胺的共聚物。它们具有改良的耐化学试剂性、耐磨性和耐热性，以及良好的冲击强度和拉伸强度。可通过挤出、注射和吹塑成型加工。用于运动器械、汽车和电力设备、刷子和风箱。也叫聚酰胺热塑性橡胶、聚酰胺 YPE、热塑性聚酰胺橡胶。

polyamide thermoplastic rubber（聚酰胺热塑性橡胶）

见 polyamide thermoplastic elastomer（聚酰胺热塑性弹性体）。

polyamide TPE（聚酰胺 TPE）

见 polyamide thermoplastic elastomer（聚酰胺热塑性弹性体）。

polyamide-imide（聚酰胺-酰亚胺）

一种热塑性塑料，通常由两步法制得：由偏苯三酸酐和芳香族二胺化合物聚合，形成主链上带氨基和羧基的聚酰胺酸；然后羧基和氨基进行缩聚合，生成酰亚胺基团。聚酰亚胺在 260℃（500℉）的温度下仍然具有高度的拉伸和压缩强度，其尺寸稳定性和耐磨性、抗冲击性、抗化学药品性较好。聚酰亚胺除了具有良好的热稳定性外，还具有良好的阻燃性、粘合性、介电性和阻隔性。另一方面，聚酰亚胺的加工性能很差，这是因为其在粘流态表现出高度的粘弹性并且对碱金属有抗性。可通过模压和注射成型，以及多种颗粒烧结、膜涂布以及溶液涂布工艺加工。用途包括飞机发动机部件、垫圈垫片、密封圈、轴承和汽车工业中的接头部分以及非粘结性涂层。也叫酰胺酰亚胺、PAI。

polyaminobismaleimide（聚氨基双马来酰亚胺）

热固性塑料，由芳香族二元胺和双马来酸酐制得。可以进行浇铸、模压和转移模塑。填料的含量较高。聚氨基双马来酰亚胺与通用热固性树脂相比具有流动性能，热化学性能超过了一些轻质合金。具有阻燃性和抗辐射性。可以用于飞机、电气/电子、摩擦以及烧蚀器件。也叫 PABM。

polyaminoundecanoic acid（聚氨基十一烷酸）

见 nylon 11（尼龙 11）。

polyaniline（聚苯胺）

一类在分子水平具有三种不同氧化状态的聚合物——聚苯胺（完全未氧化），苯胺绿（部分氧化），完全氧化（完全氧化）。当聚苯胺苯胺绿基体中掺杂入氢离子酸（如 HCl）后，具有导电性。导电性取决于聚苯胺的形态。要获得高的导电性，聚苯胺应当旋涂到高结晶度和高取向的纤维上。也叫 PANI。

polyaryl ether（聚芳基乙醚）

见 polyphenylene oxide（聚苯醚）。

polyaryl oxide（聚芳基氧化物）

见 polyphenylene oxide（聚苯醚）。

polyarylamide（聚芳基酰胺）

芳香族热塑性聚酰胺，由芳香族二胺和芳香族二酸或其衍生物（如芳香族二酸酐）共聚而成。这些塑

料在升高温度时具有高耐热性、良好的机械保持性、介电性、耐化学试剂性、高阻燃性，具有高硬度。高结晶度导致了良好的机械性能，例如，冲击强度较高。阻隔光的能力稍低。由于其熔点较高，使得加工较困难。可通过溶液铸造、模压和挤出加工。用途包括膜、纤维以及需要表面光洁性高的模具。也叫 PARA。

polyarylate（多芳基化合物）

见 aromatic polyester（芳香族聚酯纤维）。

polyarylene ether（聚亚芳香基醚）

见 polyphenylene oxide（聚苯醚）。

polyarylene oxide（聚亚芳香基氧化物）

见 polyphenylene oxide（聚苯醚）。

polyarylsulfone（聚芳砜）

一种热塑性塑料，在完全的主链结构中包含有循环的砜基和乙醚官能团。它具有良好的耐高温性、耐低温性、冲击强度、介电性、硬度、耐酸碱性，改进的耐环境压力开裂性。聚芳砜不能燃烧，但可以被一些有机溶剂侵蚀。可以通过注射、模压和挤出成型加工。用于高温下的电气和电子器件，如电路板和灯罩、管道和汽车部件。

polyazacyclotridecanone

见 nylon 12（尼龙 12）。

polybenzimidazole（聚苯并咪唑）

由 3，3'，4，4' -二氨基联苯（二氨基联苯胺）和邻苯二甲酸酯缩聚而成。它具有高度的热稳定性和化学稳定性。聚苯并咪唑颜色是深棕色的，用于耐高温且阻燃的纤维上。典型的用途是航空领域，如保护性涂层和加强层压制品。

polybutylene terephthalate（聚对苯二甲酸丁二酯）

一种饱和聚酯热塑性塑料，可由对苯二甲酸二甲酯和丁二醇在熔融条件下经缩聚反应、酯交换反应制得。聚对苯二甲酸丁二酯具有良好的拉伸强度、介电性、耐化学性（除了强碱和卤代卤素溶液）。聚对苯二甲酸丁二酯的吸水能力很低。材料具有相对低的冲击强度和热稳定性，但是这些可以通过修饰很容易地克服。可通过注射、吹塑、挤出、热成型来加工。用于汽车车体部件、电开关和中继设备、家具，以及动力设备的壳体多种消费产品。也叫 PBT、PBTR、聚四亚甲基对苯二酸酯。

polycaprolactam（聚己内酰胺）

见 nylon 6（尼龙 6）。

polycarbodiimide（聚碳二亚胺）

主链上有—N ═C ═N—基团的聚合物，主要由聚异氰酸酯的催化缩合而成。它们用于制备具有高度热稳定性的开放发泡体。空间位阻型聚碳二亚胺可用作聚酯基聚氨酯弹性体的水解稳定剂。

polycarbonate（聚碳酸酯）

热塑性塑料。可由二元酚（如双酚 A）的光气化作用或由二芳基碳酸酯（常为联苯碳酸酯）和二元酚的酯交换反应制备。其性能取决于主链上重复排列的碳酸基，但是属于聚酯类。具有良好的机械性能，尤其是冲击强度，低的吸湿性，良好的热稳定性和耐氧化性。它们是自灭性材料，一些等级是透明的；容易被强酸和强碱侵蚀，溶于有机溶剂，可以承受应力开裂。可通过注射、吹塑、挤出、热成型加工，但是需要较高的加工温度。用于电话部件、假牙、办公设备壳体、安全设备、清洁型餐具以及食品包装。也叫 PC。

polycarbonate polyester alloy（聚碳酸酯聚酯合金）

聚碳酸酯和聚酯的热塑性合金。冲击改性和填充改性等级可适用于注射和吹塑成型。用途包括汽车部件。

polychloroprene（聚氯丁烯）

见 neoprene rubber（氯丁橡胶）。

polychlorotrifluoroethylene（聚氯三氟乙烯）

热塑性塑料，由氯三氟乙烯游离基聚合制备。它具有良好的透明性和极好的阻隔性。三氟氯乙烯的介电性、耐溶剂性、氯化性都比四氟乙烯要低，但是拉伸强度和耐蠕变性较高。加工较困难，这是因为其粘流态粘度较高，可以通过挤出、注射、模压成型和涂布加工。用途包括化学仪器、低温密封、保膜和涂层；球粒三氟氯乙烯也可用做填料，三氟氯乙烯油用做多种材料的润滑剂。也叫 CTFE、PCTFE。

polycyclohexylenedimethylene ethylene terephthalate（聚环已基已烯二亚甲基乙烯对苯二酸盐）

见 glycol modified polyethylene terephthalate（乙二醇改性的聚乙烯对苯二酸盐）。

polycyclohexylenedimethylene terephthalate（聚对苯二甲酸环已二亚甲酯）

热塑性聚酯，可由环已基乙二醇和对苯二酸缩聚而成。高温应用中通常填充玻璃纤维。可通过模塑和挤出加工。也叫 PCT。

polydimethylsiloxane（聚二甲硅氧烷）

硅基有机聚合物。透明、惰性、不易燃烧。可具有从液态粘度到橡胶态的各种粘度。用途包括粘合剂、密封剂、润滑剂、脱模剂、化妆品以及头发护理品。也叫 PDMS。

polyester（聚酯）

由多元醇和多元酸缩合而成的一大类聚合物，也可由羟基酸缩合而成。聚酯的性质主要由其主链结构上的重复的羰基决定，聚酯既可以是脂肪族的又可以是芳香族的。包括由醇酸树脂和不饱和聚合物组成的热固性的聚酯，以及弹性体的热塑性聚酯。聚酯的性能、加工工艺和应用非常广泛。也叫共聚酯。

polyester terephthalate（聚酯对苯二酸盐）

见 terephthalate polyester（对苯二酸聚酯）。

polyester thermoplastic elastomer（聚酯热塑性弹性体）

这些热塑性弹性体主要是共聚物，包括软聚酯嵌段和硬聚酯嵌段。它们具有宽广的弹性/硬度范围，良好的介电强度、耐化学性、抗蠕变性能，优越的动态性能，出众的外观，以及杰出的保持性能，在 -40 ~ 149℃（-40 ~ 300℉）的范围内都具有这些性能，但是要避免接触紫外辐射。可通过注射、吹塑和旋转成型、挤压铸造和吹膜加工。用途包括电绝缘设备、医疗设备、汽车外部构件、办公设备以及消费品。也叫共聚酯热塑性橡胶、共聚酯 TPE、聚酯热塑性橡胶、聚酯 TPE、TEEE。

polyester thermoplastic rubber（聚酯热塑性橡胶）

见 polyester thermoplastic elastomer（聚酯热塑性弹性体）。

polyester TPE（聚酯 TPE）

见 polyester thermoplastic elastomer（聚酯热塑性弹性体）。

polyestercarbonate（聚酯碳酸盐）

见 aromatic polyester estercarbonate（芳香族聚酯碳酸盐酯）。

polyether polyimide（聚醚聚酰亚胺）

见 polyetherimide（聚醚酰亚胺）。

polyether polysulfone（聚酯聚砜）

见 polyethersulfone（聚醚砜）。

polyetheretherketone（聚醚醚酮）

一种部分结晶的热塑性塑料，主链上包含重复的醚基和酮基。它的学名是聚（含氧 1，4-亚苯基-1，4-丫苯羰基-1，4-苯）。PEEK 有极好的耐化学性、韧性、刚度、耐负载能力、热稳定性、抗辐射性，但是阻燃性较差。可通过注射成型、旋涂、冷成型、挤出加工。用于纤维、膜、汽车发动机部件、航空复合材料、

导线和电缆绝缘层。也叫 PEEK。

polyetherimide（聚醚酰亚胺）

热塑性材料，主链中含有重复的酰亚胺和醚基。它们由二醚和二酐，如苯甲酸和双酚 A、芳香族二元胺，经过环化聚合得到。聚醚酰亚胺具有良好的抗化学性、热稳定性和水解稳定性，良好的介电性质，以及高温下的抗蠕变性。可通过挤出、热成型、模压成型、注射成型、吹塑成型和膜技术加工。用于汽车部件，飞机发动机构件，外科手术仪器，工业中的液压、气压设备，食品包装，餐具膜，电脑磁盘。也叫 PEI、聚醚聚酰亚胺。

polyetherketone（聚醚酮）

热塑性材料，具有良好的高温性能和热稳定性。用于先进复合材料、导线绝缘层、耐化学滤过器、集成电路晶片承载、轴承。是芳烃化和醚化的合成。也叫 PEK。

polyetherketoneetherketoneketone（聚醚酮醚酮酮）

一种部分结晶的工程热塑性塑料，主链上包含重复的醚基和酮基。聚醚酮醚酮酮的熔点比聚醚酮酮的高。其在较宽的温度范围内，具有较高的强度、硬度、抗化学性、抗冲击性，以及较低的折射率和热扩散系数。用于外科植入、汽车、电气/电子应用，以及作为复合材料模具。也叫 PEKEKK。

polyetherketoneketone（聚醚酮酮）

一种部分结晶的热塑性塑料，分子主链上包含重复的醚基和酮基。其具有极好的耐化学性、强度、热稳定性和尺寸稳定性。用于化学加工、油气工业生产。也叫 PEKK。

polyethersulfone（聚醚砜）

一种热塑性材料，在芳香族的主链上包含有重复的醚基和砜。在空气中和水中具有极好的热稳定性，良好的透明性、尺寸稳定性、刚度、和韧极，低的可燃性和烟雾散发性。它具有低的模塑收缩、热阻介电性。聚醚砜具有良好的耐酸性和耐强碱性，但是会被多种有机溶剂侵蚀，耐候性较差，承受应力开裂。可通过注射成型、挤出、吹塑成型、模压成型加工；但是需要较高的加工温度。用于高温电器设备，如多脚插头、烤箱窗口，以及医疗设备、天线、飞机结构构件、壳体、汽车部件。也叫 PES、聚醚聚砜。

polyethylene（聚乙烯）

聚烯烃的一类，由线型和支链型聚乙烯组成。聚乙烯是热塑性聚合物，但是在辐射和化学试剂作用下会发生交联，表现出增强的强度和介电性。所有的线型聚乙烯（除了高密度聚乙烯）都可以通过含有高烯烃的乙烯聚合而成。支链型聚乙烯单纯由乙烯制得，或与极性单体（如乙烯醋酸盐）共聚而成。密度、熔融指数、结晶度、支化度、分子量、多分散性以及聚乙烯的相关性能，会随着催化剂和聚合方法、改性单体和处理方法的不同而不同。在低温下，聚乙烯具有良好的抗冲击性、耐化学性、抗湿性，但是热膨胀系数高，耐候性、热稳定性、耐应力开裂性较差。其可以很容易地通过所有热塑性方法制得，但是易燃并难以粘合。可用于食品级材料。可通过挤出、吹塑、注射成型、热成型加工。可用于各类领域，包括膜、涂层、容器、消费品、电绝缘器件、管材。也叫 PE。

polyethylene-acrylic acid copolymer（聚乙烯丙烯酸共聚物）

乙烯和丙烯酸的共聚物，包含沿主链和分子侧链分布的羰基。是一种耐水、耐化学性、阻隔性都与低密度聚乙烯和聚乙烯相似的柔性热塑性塑料；与后者相比其粘着性能、光学性能、韧性、热粘着性增强。包含 3% ~20% 的丙烯酸，对于极性溶剂来说，密度和粘合性随着丙烯酸含量的升高而升高。FDA 经核准可以直接和食品接触。可通过挤出、吹塑、成膜、涂布加工。用途包括管道接头、胶管、垫圈、医院被单、尿布、保鲜膜。也叫 EAA、乙烯-丙烯酸共聚物。

polyethylene copolymer（聚乙烯共聚物）

热塑性材料，由乙烯和其他烯烃（如丙烯）共聚而成。可通过模塑和挤出加工。

polyethylene naphthalate（聚萘二甲酸乙二醇酯）

一种聚酯，化学性质类似于 PET，但是具有更好的耐温性和阻隔性。用于饮料瓶和帆布的生产，作为

膜材料用于电气设备和电子设备。也叫 PEN。

polyethylene terephthalate（聚对苯二甲酸乙二醇酯）

一种饱和聚酯热塑性塑料，可由乙二醇和对苯二酸或其衍生物制得。PET 硬度极高，耐磨，尺寸稳定，抗化学性好，具有良好的介电性能。随着结晶度和取向程度的增加，其拉伸强度和热稳定性随之增加。PET 可通过高温挤出、注射、吹塑成型、熔融旋涂以及膜挤出加工。用途包括纤维、食品保鲜膜（FDA 认证）、饮料瓶、磁带、胶片、食品托盘。也叫 PET、PETE。

polyfluorocarbon（聚氟化碳）

见 fluoropolymer（含氟聚合物）。

polyfluorohydrocarbon（聚氟化烃）

见 fluoropolymer（含氟聚合物）。

polyformaldehyde（聚甲醛）

见 acetal resin（缩醛树脂）。

polyhexamethylene sebacamide（聚癸二酰己二胺纤维）

见 nylon 610（尼龙 610）。

polyhexamethyleneadipamide（聚己二酰己二胺）

见 nylon 66（尼龙 66）。

polyimide（聚酰亚胺）

热固性聚酰亚胺通常由聚酰亚胺酸制备，并且需要在高温下固化。由于其粘流态粘度较低，因而具有良好的加工性能。可通过转移和注射成型、压制成型和涂层加工。与热固性聚酰亚胺相比，热塑性聚酰亚胺具有更高的韧性。聚酰亚胺也可进行重塑和再次成型。由于热塑性聚酰亚胺的玻璃化转变温度相对较高并且粘度较高，因此需要较高的加工温度，这可能会超过材料的降解温度。热固性和热塑性聚酰亚胺的用途包括飞机发动机元件、压缩机部件、电子涂料、汽车部件如传动装置的垫圈，以及办公设备器件。也叫 PI。

polyketone（聚酮）

热塑性材料的一类，最典型的分类是聚醚酮和聚醚醚酮。性质由主链中的重复单元酮基决定。也叫酮树脂。

polylactic acid（聚乳酸）

一种可生物降解的、热塑性的脂肪族聚酯，由循环再利用资源（如淀粉和糖类）制得。像其他大多数热塑性材料一样，可以被加工成纤维和膜。用于大量的生物医用器械，如缝合和支架；因为可以生物降解，也用于包装和一次性餐具。也叫 PLA。

polymer（聚合物）

种高分子量物质，由类似线性、接枝、交联或者重复分子群组成的具有特定形状的分子链组成。通过一种或者多种单体的聚合反应制备合成聚合物。单体包括低分子量活性物质，通常含有 >1 的分子键或者化学键。天然聚合物分子结构类似于合成聚合物，并且有不同的纯度。也叫树脂、合成树脂。也见于塑料。

polymer coated material joining（高分子涂层材料连接）

这种技术包括用一层热塑性物质预先涂覆在非热塑性组分上。然后，用塑料焊接技术通过把塑料涂层焊接在一起来连接元件。这些接头的机械完整性依赖于热塑性涂层和非热塑性基底之间的连接强度以及涂层之间的焊缝的强度。也叫 PCM。

polymethyl methacrylate（聚甲基丙烯酸甲酯）

一种丙烯酸树脂，通过单体甲基丙烯酸甲酯聚合制备。光学透过率良好（92% 透光率），耐候性优异，具有良好的冲击强度和电学性能，无毒，无味。粉末可以注射、挤压和压缩成型，液体可以铸造成棒形物、

片形物或者透镜。用于飞机檐篷、标志物、照明灯具。也叫 PMMA。

polymethylpentene（聚甲基戊烯）

一种热塑性聚烯烃，由 4-甲基-1-戊烯通过齐格勒（Ziegler）共聚合反应制备。它具有很低的密度（0.83g/cm³），高透光率，高熔点，良好的刚性、介电性、拉伸性能和耐化学性。通过注射、挤压以及吹塑成型制得。用于实验室器皿、挤出涂布纸、高强度灯具、汽车零部件、散热器插头、视镜、导线绝缘和小型电器。也叫 PMP。

polyolefin（聚烯烃）

一大类碳链弹性体和热塑性聚合物，通常由烯烃或烯属烃加成（共）聚合反应制备而得，例如乙烯。这类最重要的代表物是聚乙烯和聚丙烯，包括接枝的和线性的聚烯烃，可能含有极性侧基或是卤化的。未改性的聚烯烃具有相对较低的热稳定性，不渗透，具有很差的粘结性的无极性表面。由挤压、注射、吹塑和旋转成型制得。其他热塑性过程比较少用。这类塑料与其他的材料相比有越来越多的应用。也叫烯烃塑料、烯烃树脂。

polyolefin thermoplastic rubber（聚烯烃热塑性橡胶）

见 olefinic thermoplastic elastomer（烯族热塑性弹性体）。

polyoxymethylene（聚甲醛）

见 acetal resin（缩醛树脂）。

polyperfluoroalkoxyethylene（聚氟代烷氧基乙烯）

见 perfluoroalkoxy resin（过氟烷氧基树脂）。

polyphenylene ether（聚苯醚）

见 polyphenylene oxide（聚苯醚）。

polyphenylene oxide（聚苯醚）

在主链上包含重复醚基团的无定形热塑性塑料。它们由取代苯酚的氧化缩聚制备，如 2，6-二甲基苯酚，有较宽的使用温度范围，优异的介电性能和耐酸和耐碱性能。它们具有杰出的冲击以及疲劳强度，抗辐射性和氧化性。它可以与聚苯乙烯或者其他的聚合物在很宽比例范围内混溶，通常以改性或者合金形式使用。通过挤压和注射成型加工制得。应用于汽车零部件、航空航天电池以及其他方面。也叫聚醚醚、聚苯氧化物、聚芳醚、聚芳氧化物聚苯醚、PPE、PPO。

polyphenylene oxide nylon alloy（聚苯醚尼龙合金）

热塑性塑料，具有良好的耐热性、韧性、化学稳定性，与改性的 PPO 相比，具有更好的耐有机溶剂性。通过模塑和挤压成型加工制得。应用于汽车车身面板。

polyphenylene sulfide（聚苯硫醚）

一种高性能的工程热塑性材料。它的线性分子链由被硫原子链取代的苯环组成。聚苯硫醚有极好的热稳定性、介电性、耐溶剂性和和抗化学性（氯化烃除外），良好的抗辐射性，优异的尺寸稳定性，低吸水性，但是冲击强度不高。聚苯硫醚是不燃的。由于聚苯硫醚的高熔点，使对其加工变得困难，可以在较高温度下通过注射、压缩、转移以及挤压成型制得。应用于液压元件、轴承、阀门、电子零件，以及小的应用，比如吹风机和下引擎罩汽车零部件。同样，球状聚苯硫醚也应用于各种塑料的填料。也叫聚苯硫基、PPS。

polyphenylene sulfide sulfone（聚苯硫醚砜）

热塑性物质，具有良好的热稳定性、耐化学性、介电性，以及低的可燃性和蠕变性。通过注射成型加工。

polyphenylenesulfidesulfone（聚苯硫醚砜）

见 polyphenylene sulfide sulfone（聚苯硫醚砜）。

polyphenylsulfone（聚苯砜）

一种无定形高性能热塑性塑料。与聚砜和聚醚酰亚胺相比有更好的耐冲击性和耐化学性。与其他无定形热塑性物质相比，也具有更好的耐水解性能，可以蒸汽消毒，使其适于作为医学用品，比如消毒托盘、牙科手术器械、手套。也叫 PPSU。

polyphthalamide（聚酞酸酯）

热塑性芳香族聚酰胺，由芳香胺和邻苯二甲酸或者其衍生物（如酸酐）聚合制得。这种塑料具有高的抗热性，在高温下也有良好的机械保持性、介电性、抗化学性、高硬度和低的可燃性。高的结晶度导致了良好的机械性能，比如冲击强度。耐光性不是很好。由于高的熔点使其加工困难。通过溶液铸造、模塑和挤压加工。用途包括薄膜、纤维、注射件，要求其有低的表面粗糙度。也叫 PPA。

polypropylene（聚丙烯）

由丙烯均聚物组成的一种碳链热塑性塑料，在齐格勒纳塔催化剂下通过立体定向聚合物制备。大部分聚丙烯是等规立构的。聚丙烯具有低的密度，良好的弹性、耐化学性、耐磨性、耐潮湿性和耐应力开裂性，但是尺寸稳定性、机械强度、抗紫外线能力和耐热性低。聚丙烯是可燃的。通过注射、旋转、挤出成型和薄膜技术进行加工。用于压敏胶粘带薄膜、包装、衬垫和收缩薄膜，在纺织纤维也有应用。也叫 PP。

polypyrrole（聚吡咯）

一种吡咯聚合物，具有一个氮原子、四个碳原子和两个双键组成的五元环。该聚合物可以通过电化学聚合反应制得。聚合物因此掺电解质阴离子并且具有导电性。聚吡咯应用于轻量级二次电池、电磁干扰屏蔽、阳极涂层、光导鼓、太阳能电池和晶体管。

polysiloxane（聚硅氧烷）

见 silicone（硅树脂）。

polystyrene（聚苯乙烯）

一种热塑性塑料，由聚苯烯共聚合制备。它有良好的刚性和介电性能，高的尺寸稳定性，低的吸湿性能和光学透明性，高光泽。另一方面，它是可燃的，具有差的冲击强度和耐溶剂性、耐热性、耐紫外线性和耐化学性。通过注射、挤压、压缩和发泡成型加工。在医疗器械、家居药品领域有广泛应用，例如餐具把手和家居用品、食品包装、电子、隔热泡沫。也叫聚苯乙烯、PS。也见于 expanded polystyrene（发泡聚苯乙烯）、general purpose polystyrene（通用聚苯乙烯）、impact polystyrene（抗冲聚苯乙烯）。

polystyrol（聚苯乙烯）

见 polystyrene（聚苯乙烯）。

polysulfide（聚硫化物）

一大类聚合物，包括芳香族、脂环族或脂肪族主链上的重复硫链。聚硫化物里最重要的分类是聚苯硫基和硫化橡胶，前一种类聚醚是用硫取代氧，后一种在重复单元当中有一系列相互连接的硫原子。

polysulfide adhesive（聚硫化物粘合剂）

柔韧的单组分或双组分的粘合剂，通过交联反应固化。也叫硫化粘合剂。

polysulfone（聚砜）

一类热塑性塑料，特点在是重复单元当中存在砜链。大多数聚砜是芳香性的，包含醚键而使其抗氧化性加强。聚砜里面最重要的是聚芳砜和聚醚砜。作为一类物质，聚砜表现出了很好的热稳定性，低的蠕变性，良好的介电性能、透明性、自熄灭性、抗化学性，但是被许多溶剂侵蚀，具有差的耐候性，承受应力开裂，需要很高的加工温度。通过注射、压缩、吹塑和挤压成型进行加工。用于电子、汽车零部件、电气绝缘材料。一种高性能热塑性工程塑料，在商业上叫聚砜，由氧原子连接的二芳砜组成，并且拥有这类物质的大部分性能。在高温下具有很好的韧性和冲击强度，耐酸碱，但是会被极性溶剂侵蚀。应用于医疗器械、食品加工设备、电器、化学仪器和电池，也叫 PSO、PSU。

polytetrafluoroethylene（聚四氟乙烯）

热塑性塑料，通过四氟乙烯的自由基聚合反应制得。它具有低的介电常数，优越的耐化学腐蚀性，非常高的热稳定性，较低的摩擦系数，优良的润滑性能和很好的耐候性，可燃性低。聚四氟乙烯的抗冲击强度和渗透率很高，而强度和抗蠕变性相对较低。聚四氟乙烯的高熔融粘度限制了其加工过程中烧结成型和粉末涂覆。用途包括炊具、化学仪器、电力部件、轴承、容器的涂层，不沾物。同时，球状聚四氟乙烯也可作为填料且聚四氟乙烯油可以作为各种塑料的润滑剂。也叫 PTFE，TFE。

polytetramethylene adipamide（聚四氟乙烯甲基己二酰胺）

见 nylon 46（尼龙 46）。

polytetramethylene terephthalate（聚四氟乙烯对苯二甲酸乙二醇酯）

见 polyethylene terephthalate（聚对苯二甲酸乙二醇酯）。

polythiophenylene（聚苯硫基）

见 polyphenylene sulfide（聚苯硫醚）。

polyurethane（聚氨酯）

一大类聚合物，其主链包含的重复单元有聚氨酯基团。聚氨酯通常是由带有多元醇的聚异氰酸酯的界面缩聚反应制得的。聚氨酯当中最重要的成员是脲烷橡胶、热塑性非弹性体聚氨酯、脲烷热塑性弹性体聚氨酯和热固性脲烷树脂。根据聚氨酯的组成和分子结构的不同，它可能是刚性或柔性的、蜂窝状或者实心的，并且提供了很广的性能范围。通常在低温下具有很好的耐磨性、保持性、发泡性，但是耐热性、耐候性和耐溶剂性较差。聚氨酯是可燃的，并且是由有毒物质（异氰酸酯）制成的。非弹性体热塑性聚氨酯不是化学交联的，通过注射成型和挤压成型制得。热固性聚氨酯在中等温度或者室温下固化，并在良好绝热性能的情况下发泡。它们主要通过反应注射成型、发泡技术、浇铸和涂覆加工。聚氨酯应用于承载辊和车轮、声阻尼材料、体育用品、密封件和垫片、热绝缘和其他用途的封装，以及刚性和柔性泡沫等方面。也叫 PU、聚氨酯聚合物。也见于 nonelastomeric thermoplastic polyurethane（非弹性热塑性聚氨酯）、nonelastomeric thermosetting polyurethane（非弹性热固性聚氨酯）、urethane thermoplastic elastomer（脲烷热塑性弹性体）。

polyurethane adhesive（聚氨酯粘合剂）

单组分或双组分的粘合剂，通过聚合反应就行浇铸，以形成既有刚性又有柔性的耐温的键。

polyurethane thermoplastic rubber（聚氨酯热塑性橡胶）

见 urethane thermoplastic elastomer（脲烷热塑性弹性体）。

polyurethane TPE（聚氨酯热塑性弹性体）

见 urethane thermoplastic elastomer（聚氨酯热塑性弹性体）。

polyvinyl chloride（聚氯乙烯）

一种热塑性塑料，通过氯乙烯在分散（乳状液）、块状或者悬浮的工艺下进行的自由基聚合反应制备而得。添加微量的共聚单体有时会提高其粘附性能或者其他性能。未改性的聚氯乙烯是刚性的，需要增塑剂以提高其柔顺性。聚氯乙烯的主要最终形式分为刚性的和柔性的。柔性形式通常是由塑料胶制成的，在液态增塑剂中聚氯乙烯的悬浮液。聚氯乙烯可以被氯化以提高其热变形温度和拉伸强度，降低其可燃性和发烟性。聚氯乙烯尺寸是稳定的，大部分是不可燃的，耐候的，具有有限的耐热稳定性，高密度，可被许多溶剂侵蚀。通过注射、压延、吹塑成型，粉末涂覆、挤压涂层和膜技术进行加工。应用非常广泛，包括薄膜、织物涂胶、电线涂料、玩具、瓶以及管道。也叫 PVC。也见于 unplasticized polyvinyl chloride（非塑性聚氯乙烯）。

polyvinyl dichloride（氯化聚乙烯）

见 polyvinylidene chloride（聚偏二氯乙烯）。

polyvinyl fluoride（聚氟乙烯）

一种高结晶性材料，具有高的韧性、柔顺性，出色的耐候性，和良好的耐磨性。商业上仅用来做成膜

材料。其使用温度范围很宽，为 -70 ~ 110℃（-94 ~ 230℉）。应用于包装、玻璃装配业和电气应用。也叫 PVF。

polyvinylidene chloride（聚偏二氯乙烯）

一种有规立构的、热塑性的聚合物，由偏二氯乙烯的聚合反应或者偏二氯乙烯与更少的其他非饱和键的共聚反应制备而得。这种聚合物耐磨和耐化学腐蚀，不透气、并具有低的蒸汽渗透性。用途包括食品包装、杀虫剂的多层纸袋、化学工艺器械用的管道、座套、垫衬物、纤维和乳胶涂料。也叫氯化聚乙烯、PVDC。

polyvinylidene fluoride（聚偏氟乙烯）

由偏氟乙烯制得的热塑性物质。比其他氯化物具有更高的强度、耐磨性和抗蠕变性，但是有相对高的介电常数和损耗因子。聚偏氟乙烯是不可燃的，耐大部分溶剂，具有极好的耐候性。比纯的含氟聚合物的使用温度低，耐化学腐蚀性差。聚偏氟乙烯可以很容易地通过挤压、注射、转移成型和粉末及悬浮涂覆加工。用途包括电绝缘材料、管道、化学器械、涂层、膜材料、容器以及纤维。也叫 PVDF。

polyxylyleneadipamide（聚亚二甲苯基氨基化合物）

见 nylon MXD6（尼龙 MXD6）。

POM

见 acetal resin（缩醛树脂）。

pot-life（适用期）

见 working life（适用期）。

powdered carbon（碳粉）

见 carbon filler（碳填料）。

powdered graphite（粉状石墨）

见 graphite filler（石墨填料）。

PP

见 polypropylene（聚丙烯）。

PPA

见 polyphthalamide（聚酞酸酯）。

PPE

见 polyphenylene oxide（聚苯醚）。

pphm

$10^{-6}\%$ 或 10^{-8}。

ppm

$10^{-4}\%$ 或 10^{-6}。

PPO

见 polyphenylene oxide（聚苯醚）。

PPS

见 polyphenylene sulfide（聚苯硫醚）。

PPSU

见 polyphenylsulfone（聚苯砜）。

press fit（压配）

见 interference fit（过盈配合）。

pressure sensitive adhesive（压敏胶）

一种需要在零件上施加压力以进行粘接的粘合剂。通常由橡胶弹性体和改性的增粘剂组成，压敏粘合剂作为溶剂型粘合剂或热熔体作用于零件上；不会经常发生固化。它们在很小的压力下就会很牢固地粘附，并且有很强的触变性。缺点包括有限的使用温度，易受氧化降解影响。也见于粘合剂。

primer（底漆）

在粘合剂应用中，分散在溶剂当中的一种活性化学物质，通过喷或者涂刷作用在物体表面。当溶剂挥发后，表面可能立刻粘结在一起，就像氰基丙烯酸酯的聚烯烃底漆，或者需要时间和大气水分反应，就像用于硅树脂粘合剂的硅烷底漆和用于聚氨酯基粘合剂异氰酸盐基底漆。底漆一般包括一种多功能的化学活性物质，在基质和粘合剂之间充当化学桥梁的作用。底漆通常和缩醛、含氟聚合物、聚对苯二甲酸乙二醇酯、硅树脂、聚氨酯和聚烯烃一起使用。用在基板涂层要在涂料或面漆涂料之前涂覆，以密封小孔改善外层的附着性，改善防腐蚀性能，隐藏表面缺陷或颜色。通常是基于具有功能粘合剂的聚合物。与涂层应用同样的技术。也叫粘合增进剂、涂底剂。

primer coating（涂底剂）

见 primer（底漆）。

processing agents（处理剂）

在一种材料或者物品制造、制备和处理过程中使用的试剂或者媒介，以提高其加工性能或者性能。这种试剂通常成为材料的一部分。

processing defect（加工缺陷）

一种材料或物品在结构上的或其他方面的缺陷，在制造、制备、处理过程当中由于使用错误的工具、过程参数、原料、零件设计等造成的不可逆的缺陷。通常是可以避免的。也叫过程缺陷。

processing flaw（过程缺陷）

见 processing defect（加工缺陷）。

processing methods（加工方法）

材料或者物品在制造、制备、处理过程当中的方法名称和设计。注意：使用包括普通和标准的名字。

processing parameters（工艺参数）

可测量的参数，例如在材料和物品制造、制备、处理过程当中规定的或者维持的温度。

processing time（处理时间）

材料或者物品在制造、制备、处理过程当中所需要的时间。也叫加工时间。

process time（加工时间）

见 processing time（处理时间）。

projection（凸起）**——表面上升高的轮廓，用于引导焊接能量。**

promoter（助剂）

见 accelerator（促进剂）。

propene（丙烯）

见 propylene（丙烯）。

propylene（丙烯）

$CH_2=CHCH_3$，一种烯烃（不饱和脂肪烃），具有三个碳原子。是无色，高度易燃的气体，自燃温度是455℃（851℉）。由乙烯基的热裂解或者石脑油制得，用作聚合物和有机合成的单体。

PS

见 polystyrene（聚苯乙烯）。

PSO

见 polysulfone（聚砜）。

PSU

见 polysulfone（聚砜）。

PTFE

见 polytetrafluoroethylene（聚四氟乙烯）。

PU

见 polyurethane（聚氨酯）。

PU TPE

见 urethane thermoplastic elastomer（脲烷热塑性弹性体）。

pullout strength（拔出强度）

从物体零件或者凸台当中拔出或者插入一个螺钉的力。

pulp

cellulose（纤维素）。

PUR

见 nonelastomeric thermosetting polyurethane（非弹性热固性聚氨酯）。

PUR TPE

见 urethane thermoplastic elastomer（脲烷热塑性弹性体）。

PVC

见 polyvinyl chloride（聚氯乙烯）。

PVC-C

见 chlorinated polyvinyl chloride（氯化聚氯乙烯）。

PVC-U

见 unplasticized polyvinyl chloride（非塑性聚氯乙烯）。

PVDC

见 polyvinylidene chloride（聚偏二氯乙烯）。

PVDF

见 polyvinylidene fluoride（聚偏氟乙烯）。

PVF

见 polyvinyl fluoride（聚氟乙烯）。

R

radiation（辐射）

有温度的物体从表面散发出来的电磁能量，电磁能量的频率随着温度的提高而提高。也见于 conduction（传导）、convection（对流）。

radiation dosage（辐射量）

见 radiation dose（辐射剂量）。

radiation dose（辐射剂量）

在暴露时从材料接收或者吸收的电离辐射能量的大小。也叫电离辐射剂量、辐射量。

radiation resistant materials（抗辐射材料）

一种对长期和中期或者重复暴露于电离辐射下具有抵抗分解能力的材料。对材料的辐射损伤包括膨胀、辐解、起泡，以及在电学和机械性能上的改变等。辐射损伤有不同的原理，但是大部分与自由基反应有关。

可以通过把材料与中和自由基试剂固定来提高其抗辐射能力，比如二甲基亚砜、碳水化合物和各种还原剂。也叫辐射稳定材料。

radiation stabilized material（辐射稳定材料）

见 radiation resistant materials（抗辐射材料）。

radio frequency welding（射频焊接）

一种焊接热塑性塑料的方法，通常用 27.1MHz 的电磁射频场以提供必要的热量。射频场通常用接头形状的金属模具，导致接头位置分子运动的加剧以及在连接零件处温度的提高。零件在接头区域融化，允许冷却后分子通过接头界面扩散和焊接成形处。通常应用于密封片材和薄膜。也叫介电焊接、HF 焊接、高频焊接、RF 焊接。

reaction injection molding system（反应注射成型系统）

基于热固性树脂、预聚物、单体、或者混合物的液态合成物。系统的组分按照给定的比例混合，然后在一定压力下注入模具当中，在高温下聚合、固化以形成模塑零件。大部分的反应注射成型系统都是基于聚氨酯或者聚氨酯-聚脲混合物的。它们用来制造硬的或者具有结构性皮层的软质发泡模塑制品。硬的模塑物是具有低的或高的模量的弹性体。低模量的模塑物被用作汽车仪表板、保险杠盖和装饰件；高模量的模塑物被用作大的工业品和消费品。任何一种模塑物都可以通过加入填料以提高其弯曲模量、热性能和尺寸稳定性。发泡模制品被用作方向盘、扶手、汽车防护盖。其他的反应注射成型系统是基于聚脲、聚异氰酸酯、尼龙、acrylamate 树脂或者聚双环戊二烯的。也叫 LIM、LIM 系统、液态注射成型系统、RIM、RIM 系统。

regrind（回收料）

在聚合物加工过程当中，特指可以回收的材料，将一定比例的物质加入到聚合物当中来降低成本。

relative humidity（相对湿度）

空气中水汽压与饱和水汽压的百分比。也叫 RH。

relative viscosity（相对粘度）

溶液粘度与溶剂粘度的比值。也叫 RV、粘度比。

replaceable tip（可更换尖端）

在超声波焊接中，钛加工成形工具螺纹附加到焊头上。通常应用于超声波热锁及点焊。

resin（树脂）

见 polymer（聚合物）。

resistance to tear propagation（抗撕裂性）

见 tear propagation resistance（抗撕裂传播性）。

resistive implant welding（电阻植入焊接）

一种将塑料和合成物连接的方法，在接头界面处通过电流传导给放置在此处的导热元件产生热量。热塑性材料在接头界面处融化和熔合，形成焊缝。热固性塑料则需要一层热塑性隔层以进行连接。导热元件通常是不锈钢或碳纤维预制件，并且在焊接后保留在节点处。

resorcinol modified phenolic resin（间苯二酚改性酚醛树脂）

一种酚醛树脂，通过添加间苯二酚改性。这种热塑性树脂通常用于需要良好的耐热性、尺寸稳定性和抗蠕变性的场合。也叫间苯二酚酚醛树脂。

resorcinol phenolic resin（间苯二酚酚醛树脂）

见 resorcinol modified phenolic resin（间苯二酚改性酚醛树脂）

retarder（缓凝剂）

在溶剂焊接中，一种用来降低干燥快的溶剂的蒸发速度的溶剂，以防止在连接表面形成冷凝。

RF welding（RF 焊接）

见 radio frequency welding（射频焊接）。

RH

见 relative humidity（相对湿度）。

ribs（肋板）

额外加入的部件壁，以增加强度和韧性。

rigid PVC（刚性 PVC）

见 unplasticized polyvinyl chloride（非塑性聚氯乙烯）。

rigid thermoplastic polyurethane（刚性热塑性聚氨酯）

见 nonelastomeric thermoplastic polyurethane（非弹性热塑性聚氨酯）。

rigid thermoplastic urethane（刚性热塑性聚氨酯）

见 nonelastomeric thermoplastic polyurethane（非弹性热塑性聚氨酯）。

RIM

见 reaction injection molding system（反应注射成型系统）。

RIM system（RIM 系统）

见 reaction injection molding system（反应注射成型系统）。

riveting（铆接）

一个装配过程，把一个一边带头的短棒插入一个在两个或者更多零件中预先形成的孔里面。直的一端被压入或者锤入，以形成另外一个头。

Rockwell hardness（洛氏硬度）

表示在载荷作用下硬度计压头压入深度的一个数字，加载是先由固定初载（10kgf，即 22lb）。增加到一较大值然后再降到初值，这个数字包括硬度计压头垂直移动距离的标尺分度（与 0.002mm（0.00008ft）相除得到）和等级符号。洛氏等级特指一英文大写字母，根据压头的内径和较大载荷值而划分。例如，等级 A—钻石压头，主要压力是 60kgf（132lbf）；E—是 3.25mm（0.125in）球压头，压力是 100kgf（200lbf）；K—同样的球，压力是 150kgf（330lbf）；M—6.35mm（0.25in）的球，压力是 100kgf（220lbf）；R—12.7mm（0.5in）的球，压力是 60kgf（132lbf）。硬度按照 R、M、K、E 和 A 等级的顺序增加。

room temperature vulcanizing silicone（室温硫化聚硅氧）

室温下通过化学反应硫化或固化的硅。室温硫化通常用于硅和其他热固性橡胶。也叫 RTV 硅。

rotational welding（旋转焊接）

见 spin welding（旋转焊接）。

rotation speed（旋转速度）

角运动的速度。

RTPU

见 nonelastomeric thermoplastic polyurethane（非弹性热塑性聚氨酯）。

RTV silicone（RTV 硅）

见 room temperature vulcanizing silicone（室温硫化聚硅氧）。

rubber（橡胶）

见 thermosetting elastomer（热固性弹性体）。

run-up time（运行时间）

在惯性旋转焊接中，焊接工具达到运转速度的时间。

RV

见 relative viscosity（相对粘度）。

S

SAN

见 styrene-acrylonitrile copolymer（苯乙烯-丙烯腈共聚物）。

satinizing（缎光加工）

在粘合剂连接和溶剂焊接中的一个化学蚀刻过程，在这个过程中温和酸性溶液用来在零件表面产生统一的锚点。这之后抛光剂、水泥或者粘合剂连接在锚点上，产生高强度的粘结。由杜邦公司为迭尔林缩醛开发。

SAZ

见 solvent affected zone（溶剂影响区域）。

seal initiation temperature（密封起始温度）

热塑性材料开始融合和粘附在自身或其他的热塑性材料上的热密封温度的最低极限。

seating torque（座位扭矩）

一种低于剥离扭矩，即锁模力被最优化的扭矩。座位扭矩一般是剥离扭矩的 50% ~75%。座位扭矩越高越好。也见于剥离扭矩。

secant modulus（割线模量）

从一种对应于特定应变的材料的应力-应变曲线原点起始的线的斜率。应用于设计受短期非频繁的间歇应力的材料零件，其应力-应变曲线是非线性的。

self-centering（自定心）

接头设计的特性，要求部件在焊接时自动定位。

self-reinforcing plastics（自增强塑料）

拥有填充的纤维状的聚合物链的塑料。液晶聚合物叫自增强塑料。

self-tapping screw（自攻螺钉）

一种机械连接两个塑料元件的方法，将螺钉插入在塑料部分先导孔的形成配合螺纹当中。自攻螺钉可以是压纹成型或者螺纹车削。

shear joint（剪切接头）

一种用于焊接过程的接头设计，由于在配合零件处的微小过盈，热塑性部分在发生伸缩行为时融化。

shelf life（保存期限）

材料在特定情况下保持其储存稳定性的时间。也叫储存期。

Shore hardness（邵氏硬度）

用邵氏硬度计所测出的压痕硬度。邵氏硬度计的读数范围是从 0（对应的 2.5mm（0.1in）深），到 100（对应的 0 深）。邵氏 A 硬度计压头有一个尖顶，由弹簧提供 0.822kgf（1.81lbf）载荷，应用于软质塑料的测量。邵氏 B 硬度计压头有一个钝尖，弹簧提供的载荷为 4.5kgf（10lbf），应用于较硬的塑料。

short glass fiber（短玻璃纤维）

见 chopped glass fiber（短切玻璃纤维）。

shrink mark（缩痕）

见 sink mark（缩痕）。

SI

见 silicone（硅树脂）。

silicone（硅树脂）

一种聚合物，主链由交替的硅原子和氧原子组成。侧基依附于硅原子。通常由水解氯硅烷制得，然后进行缩聚和交联。根据交联的程度和侧基的性能，硅树脂可以是液态、弹性体态或者硬的固态。液态硅树脂或者硅流体（如二甲基硅氧烷）具有非常良好的抗粘附性、润滑性、耐热性、耐化学性，用作脱模剂、表面活性剂和塑料润滑剂。作为润滑剂，它们提高了塑料的耐磨性。硅弹性体或者橡胶具有高粘附性、耐压缩永久变形性、柔性，很好的介电性、耐候性、防潮性和热稳定性，低的可燃性，但是强度偏低。可以达到光学透明等级。通过涂覆和注射成型进行加工。用作光学纤维涂料、电子连接器密封材料、印制电路板涂料、密封件、隔膜、织物涂料、医疗产品、粘合剂、密封剂和上光化合物。硬硅树脂有很好的柔性、耐候性、尺寸稳定性，以及污垢释放性能，比硅橡胶强度更高、硬度更大。树脂会受卤化溶剂的侵蚀。通过涂覆、浇铸、注射、压缩和转移成型进行加工。用作涂料、粘合剂、密封剂和注射件。也叫聚硅化物、SI、硅塑料、硅橡胶、硅胶。

silicone plastic（硅塑料）

见 silicone（硅树脂）。

silicone rubber（硅橡胶）

见 silicone（硅树脂）。

siloxane（硅胶）

见 silicone（硅树脂）。

sink mark（缩痕）

注射成型零件表面的浅的压痕。通常是在浇口密封后随着自身内部的收缩而形成的表面塌陷。经常发生在厚度增加的地方的表面，如肋处。

sliding velocity（滑动速度）

不计材料摩擦磨损实验当中发生滑动时的角度损失，一个物体相对另一个物体（反体）的速度。在滑动过程当中，如果本体和反体具有相同的运动方向，它们速度矢量应该平行并且不等。

SMA

见苯乙烯-马来酸酐共聚物。

snap-fit（扣合）

一种机械连接方式，两个塑料零件通过直接模塑如零件内的联锁结构连接在一起。突出的部分（如钩子或珠子）模塑进一个零件中，并使凹陷或切球模塑进另一个零件。在连接后接头通常是无应力的。对于扣合的正常工作来说，设计是很重要的。悬臂是最常见的类型，其他的类型包括环形和扭摆。

snap-on connection（可脱卸连接）

扣合的一种类型，把一个零件摁扣在另一个零件上，就像容器的盖子。通常用于圆形物。

soak method（浸泡方法）

见浸渍法。

sodium treatment（钠处理）

在粘合剂应用中的一种表面处理技术，其基质沉浸在一种强力的蚀刻液中，蚀刻液要么是钠萘溶解于四氢呋喃的复合物要么是钠氨溶解于氨中的复合物。这个过程增加了表面韧性以及通过溶解零件表面的无定形区域机械联锁的潜质，并且通过引入羰基或者羰基官能团和非饱和键来增加表面活性和耐候性。钠处理使表面部分的颜色变深至 1nm，在延长曝光后使表面大大降解。通常用来做碳氟化合物。

solubility（溶解度）

在指定温度下形成均匀溶液时二元混合物中化合物的最大浓度。也叫溶解能力。

solubility coefficient（溶解度系数）

在设定的压力和温度下，单位体积的溶剂中溶解的气体体积。

solubility parameter（溶解度参数）

一种物质溶解在另外一种物质中的能力（例如聚合物溶解在溶剂当中）。它代表一种物质当中的分子内聚能，并决定特定浓度下混合两种物质散发的最大能量。混合散发的最大能量决定混合的自由能。当混合的自由能是负的时候发生溶解。

solvent affected zone（溶剂影响区域）

在溶剂焊接中，接头任何一边溶剂扩散到热塑性塑料的深度。也叫 SAZ。

solvent bonding（溶剂粘接）

见 solvent welding（溶剂焊接）。

solvent welding（溶剂焊接）

一种通过施加溶剂来软化零件表面以把两种热塑性塑料连接在一起的方法。软化聚合物提高了分子链的运动，使它们在结合面处混合。溶剂蒸发后发生粘附。为了获得最佳的接头强度，并防止损坏零件，必须小心控制溶剂应用。也叫溶剂粘接和溶剂融合。

solvent fusion（溶剂融合）

见 solvent welding（溶剂焊接）。

sonotrode

见 horn（电极臂）。

spherulite（球晶）

在塑料中，晶体材料中具有无定形材料的辐射层状晶体的砾石。具有机关炮的外形。球晶存在于大部分晶体塑料当中，通常相互撞击以形成多面体。它们的直径从十几微米到几毫米变化。

spin welding（旋转焊接）

一种连接圆柱形热塑性零件的方法。一零件相对于另一静止的零件旋转所产生的热量导致在交界面发生融化。之后旋转停止，在压力下两个零件结合在一起直到冷却。也叫摩擦焊接。

stability（稳定性）

在一些情况下（热、潮湿、暴露于化学品、长期贮存等）的抗降解性能或者抗变质性能。也叫耐久性。

staking（热锁）

在零件装配过程中，连接零件突出的热塑性大头钉的形成和软化的一个过程，得到了一个把零件连接在一起的头。由于热或压力作用可能发生流动。在热塑性塑料被强制在位于塑料凸台中的金属嵌件周围冷流时，热锁的变形出现，把嵌件卡在恰当的位置。

static coefficient of friction（静摩擦系数）

使两接触的表面间开始相对滑动所需要的切向力与法向载荷（通常是重力）的比值。

steady state（稳态）

在旋转和振动焊接循环过程中，相对零件位移对时间是常数，此时间即是稳态所对应的时间。

steric hindrance（空间位阻）

阻碍分子之间相互反应的分子原子的空间排列。

stibic anhydride（五氧化二锑）

见 antimony pentoxide（五氧化锑）。

storage life（储存期）

见 shelf life（保存期限）。

strain（应变）

由于应力作用，一个物体的大小或者形状相对于其原始大小或者形状的单位体积变化。注意：应变是

无量纲的，但是通常以单位长度或者百分之单位长度表示。也叫机械应变。

stress concentration（应力集中）

在某负荷条件下，零件的尖角或者小半径区域可以导致局部产生高的应力。

stress cracking（应力开裂）

由于应力低于其短期强度导致的外部或者内部的材料开裂现象。

stress decrease（压力下降）

见 stress relaxation（应力松弛）。

stress relaxation（应力松弛）

由于外部或者内部条件的变化导致的随着时间增加而应力降低的现象。也叫压力下降。

strip-to-drive ratio（条对传动比）

自攻螺钉的剥离扭矩和驱动力矩比例。条对传动比越高，组装越容易，安全系数越高。

stripping torque（剥离扭矩）

将螺纹从模塑零件中剥离出的扭矩。高的剥离扭矩更好。也叫座位扭矩。

stud（螺柱）

见 boss（凸台）。

styrene（苯乙烯）

$CH_6CH_5═CH_2$，一种无色，带有浓烈气味的油性液体。在 145.2℃（293.4℉）时沸腾；在 -30.63℃（-23.13℉）时凝固。溶于酒精和乙醚，不溶于水。当暴露于热、光或者过氧化物引发剂时迅速聚合；聚合反应可能发生爆炸。摄入和吸入有毒；在空气当中的阈值是 $50\times10^{-4}\%$；具有中度的火灾危险，自燃温度是 490℃（914℉），在空气当中的爆炸极限是 1.1%～6.1%。在存在氯化铝的条件下，苯和乙烯发生聚合反应形成乙苯，随后在 630℃（1166℉）下发生催化脱氢反应得到苯乙烯。用于生产聚苯乙烯、丁苯橡胶（SBR）、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物（ABS）、丙烯腈-苯乙烯（SAN）树脂、共聚物、橡胶改性聚苯乙烯、苯乙烯改性聚酯和防护涂料。

styrene-acrylonitrile copolymer（苯乙烯-丙烯腈共聚物）

热塑性共聚物，含大概 70% 的苯乙烯和 30% 的丙烯腈，具有比聚苯乙烯更高的强度、硬度和耐化学性。其特点是透明，热能反射性能高，光泽性极好，硬度和尺寸稳定性好。具有低的连续使用温度（85℃，即 185℉）和冲击强度。通过注射、挤压、注射、吹塑和压缩成型进行加工。应用于冰箱货架、家居用品、汽车透镜、医疗设备、电子产品（盒式磁带部分）。也叫 SAN。

styrene-butadiene block copolymer（苯乙烯-丁二烯嵌段共聚物）

这种热塑性嵌段共聚物是无定形的，由苯乙烯和丁二烯交替嵌段组成。丁二烯嵌段部分给塑料带来了韧性和抗冲击性。苯乙烯嵌段部分提供了热塑性、刚性、光泽性和与其他苯乙烯树脂的相溶性。这种聚合物展现了低的凝胶组分、吸水性、成型收缩性和加工的便利性。它们可以用于食品和饮料的容器，展示柜、玩具零件、吸塑包装、收缩包装。也叫丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物。

styrene-butadiene copolymer（苯乙烯-丁二烯共聚物）

热塑性共聚物的一类，由超过 50% 的苯乙烯组成。它们是透明的，具有很高的韧性，并且加工方便，成本低。它们可以通过条形挤压、注射成型、热成型和吹塑成型进行加工，特别是在温度为 193～232℃（380～450℉）时。当与通用聚苯乙烯混合时，应用范围包括一次性包装、吸塑包装和其他展示包装。模塑应用包括医疗器械、玩具零件、显示箱和衣架以及办公用品。膜应用包括包装。

styrene-butadiene-methyl methacrylate polymer（苯乙烯-丁二烯-甲基丙烯酸甲酯聚合物）

见 methyl methacrylate-butadiene-styrene terpolymer（甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物）。

styrene-maleic anhydride copolymer（苯乙烯-马来酸酐共聚物）

由苯乙烯和马来酸酐的共聚合反应制得的热塑性塑料。用丁二烯作为第三单体，或者与 ABS 在冲击过

程当中形成合金。它们有高的热稳定性和良好的粘附性能，但是耐化学性和抗紫外线性有限。耐冲击的该聚合物有很好的冲击强度。通过注射、挤压、发泡成型加工。用于汽车零部件、控制台、小家电、门板、泵元件以及商业机器。也叫 SMA。

styrene-maleic anhydride copolymer PBT alloy 苯乙烯-马来酸酐共聚物聚对苯二甲酸丁二酯合金

苯乙烯马来酸酐共聚物与改善了尺寸稳定性和拉伸强度的聚对苯二甲酸丁二酯热塑性的合金。通过注射成型进行加工。

styrene-maleic anhydride copolymer polycarbonate alloy 苯乙烯-马来酸酐共聚物聚碳酸酯合金

SMA 和聚碳酸酯的热塑性合金。通过注射和挤压成型进行加工。

styrene-methyl methacrylate-butadiene polymer（苯乙烯-甲基丙烯酸-丁二烯聚合物）

见 methyl methacrylate-butadiene-styrene terpolymer（甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物）。

styrene plastic（苯乙烯塑料）

见 styrenics（苯乙烯）。

styrene resin（苯乙烯树脂）

见 styrenics（苯乙烯）。

styrene rubber plastic（苯乙烯橡胶塑料）

见 impact polystyrene（抗冲聚苯乙烯）。

styrenic methyl methacrylate copolymer（苯乙烯甲基丙烯酸共聚物）

一种苯乙烯和甲基丙烯酸甲酯的聚合物。

styrenic plastic（苯乙烯塑料）

见 styrenics（苯乙烯）。

styrenic resin（苯乙烯树脂）

见 styrenics（苯乙烯）。

styrenics（苯乙烯）

一类热塑性塑料，主要由苯乙烯自由基均聚反应或者由苯乙烯与其他非饱和单体的共聚反应制得。这类物质最重要的一类是 ABS 塑料、聚苯乙烯、苯乙烯-马来酸酐共聚物、丙烯腈-苯乙烯共聚物。苯乙烯类物质的性能随着分子结构的不同而不同，有一些到达了工程塑料的高性能水平。通过吹塑成型、注射成型、挤压成型、热成型，膜技术和发泡结构成型加工。大量应用于汽车零部件、家居用品、包装、膜、工具、容器和管道。也叫苯乙烯塑料、苯乙烯树脂。

styrenic thermoplastic elastomer（苯乙烯热塑性弹性体）

这类热塑性弹性体由线性或者由包含聚苯乙烯嵌段终端和弹性体（如异戊二烯橡胶）中间嵌段部分的接枝共聚物组成。这类橡胶的强度范围为邵式强度 A 28 ~ 95，拉伸强度为 300 ~ 5000psi（2 ~ 35MPa），伸长率为 250% ~ 1300%。在 −80℃（−112℉）时它们仍然保持自身的柔顺性，并有很好的介电性能和水解稳定性。通过注射、吹塑和挤压成型加工。用途包括粘合剂、涂料、密封剂、冲击和沥青改性剂、鞋底、医疗器械、管材、电缆绝缘和汽车零部件。也叫苯乙烯热塑性橡胶、苯乙烯 TPE、热塑性苯乙烯橡胶。

styrenic thermoplastic rubber（苯乙烯热塑性橡胶）

见 styrenic thermoplastic elastomer（苯乙烯热塑性弹性体）。

styrenic TPE（苯乙烯 TPE）

见 styrenic thermoplastic elastomer（苯乙烯热塑性弹性体）。

sulfide adhesive（硫化胶）

见 polysulfide adhesive（聚硫化物粘合剂）。

surface energy（表面能）

见 surface tension（表面张力）。

surface grafting（表面接枝）

在粘接时的一种表面处理技术，在这个技术中，化学试剂（如醋酸乙烯）被接枝到物质表面。通常用来接枝乙烯基到聚烯烃上。

surface roughening（表面粗化）

在粘接时一种常用的表面处理技术，在这个技术中，基质表面被机械磨刮擦。摩擦表面的粘结力显著地随着机械联锁的增加而增加。

surface roughness（表面粗糙度）

固体表面不平的地方（坑和突起物），可以通过各种方法量化（如利用表面光度计处理涂料）。

surface tack（表面粘性）

材料表面的粘性，如未干的油漆所表现的。

surface tension（表面张力）

液体表面的凝聚力，沿着表面或者物体方向的单位长度的力，一定要延伸到每一个单元表面（如平方厘米）。也叫自由表面能、表面能。

surface velocity（表面速度）

两个表面的相对移动速度。

sym-dichloroethylene（均二氯乙烯）

见 dichloroethylene 1，2（二氯乙烯 1，2）。

syndiotactic（间规立构）

一种聚合物分子，其侧基或者原子粘附在主链上，在同一个平面上对称和循环排列。

synergistic effect（协同效应）

基于另一种物质的性能的一种物体的增强效应，使得两种物体的总体效应比两种物体单独存在时的大，比如氧化锌的紫外线吸收的锌双（二丁基磺酸酯）的协同效应。

synthetic resin（合成树脂）

见 polymer（聚合物）。

synthetic rubber（合成橡胶）

见 thermoplastic elastomer（热塑性弹性体）。

T

Taber abrasion resistance（Taber 耐磨性）

塑料或者其他材料在被放入预先设定的旋转速度（通常是 1000rpm），承受 Taber 磨石的磨损的重量损失。一个 Taber 磨石包括一个空转砂轮，CS-10F，H 22 等类型的研磨料和砂砾，以及上面安装样本的旋转磁盘。将负载施加于砂轮，产生的移动模拟了滚动与滑动。

tack（粘性）

见粘着性。

tackiness（粘着性）

由一种完全粘附在两个分开表面的材料产生的拔出阻力。涂料表面具有轻微粘性，当用手指压的时候发生显著的固化。也叫粘性。

tan delta（角正切）

见 dielectric dissipation factor（介质损耗因子）。

tapping（攻螺纹）

在塑料、金属或者相似材料中，在圆的先导孔的壁上形成螺纹的过程。也见于 self-tapping screw（自攻

螺钉)。

tear propagation force (撕裂传播力)

见抗撕裂传播性。

tear propagation resistance (抗撕裂传播性)

在一个固定的负载速率下,在柔性塑料薄膜或薄板中传播裂缝所需要的力,是最初的和最大的撕裂传播力的平均力。也叫撕裂传播力、抗撕裂传播。

tearing energy (撕裂能)

应变能密度和裂缝长度的函数,单位是 kN/m。以撕裂能对疲劳裂纹扩展速率所做的图用于表征橡胶中的疲劳裂纹扩展的动力学特征,此图并不符合经典弹性理论。也叫撕裂能参数。

tearing energy parameter (撕裂能参数)

见撕裂能。

TEEE

见 polyester thermoplastic elastomer(聚酯热塑性弹性体)。

tensile elongation (拉伸延伸率)

见 elongation (延伸率)。

tensile heat distortion temperature (拉伸热变形温度)

见热变形温度。

tensile properties (拉伸性能)

描述物理系统相对于拉伸应力和应变的反应的性能。

tensile strength (拉伸强度)

在测试中样品被破坏之前所能承受的最大拉伸应力。注意:最大应力可以在失效时或失效后测定,或者在断裂前测定,这取决于材料的粘弹性。也叫极限拉伸强度或断裂时的拉伸强度。

tensile strength at break (断裂时的拉伸强度)

见 tensile strength (拉伸强度)。

tensile stress (拉伸应力)

在拉伸测试中的任何时刻和样品的最小原始截面相关的力。

TEO

见 olefinic thermoplastic elastomer(烯族热塑性弹性体)。

terephthalate polyester (对苯二酸聚酯)

一种基于对苯酸酐的热固性不饱和聚酯。也叫对苯聚酯、聚对苯二酸酯。

terephthalic polyester (对苯聚酯)

见 terephthalate polyester(对苯二酸聚酯)。

tetrachloroethylene (四氯乙烯)

一种带有醚类气味的无色、化学稳定的且难燃的液体,$CCl_2{=\!=}CCl_2$。对皮肤有刺激性。是烃类物质的氯代物,用作电子设备的干洗溶剂和干燥剂。

tetrachloromethane (四氯甲烷)

见 carbon tetrachloride (四氯化碳)。

tetrafluoroethylene propylene copolymer (四氟乙烯丙烯共聚物)

四氟乙烯和丙烯的热固性弹性聚合物,具有很好的化学性、耐热性和柔性。用于汽车零部件。

TFE

见 polytetrafluoroethylene (聚四氟乙烯)。

thermal expansion coefficient（热膨胀系数）

由材料的温度变化而引起的单位体积的变化量，通常指的是室温下。

thermal properties（热性能）

与作用于材料的热效应和热传导有关的性能。热效应包括对结构、几何形状、性能、老化性、应力应变行为等的影响。

thermal stability（热稳定性）

在特定的条件下，材料对分解、性能退化以及保存过程中各种类型的降解的抵抗能力。也叫炉稳定性。

thermal treatment（热处理）

在胶接过程中的一种表面处理技术，将基质表面暴露于热风中（约500℃，即930℉）进行氧化。氧化是通过自由基机理进行的，并且在零件表面引入了羰基、羧基、酰胺基和一些过氧化氢官能团，还伴有断链和一些交联。通常应用于聚烯烃，热处理增加了材料润湿性和界面扩散性。

thermoforming（热成型）

将热塑性薄片加热到其软化点，然后施加不同的压力使薄片符合模具或口模的形状的过程。

thermoplastic（热塑性塑料）

加工完成后可通过加热重复软化，并通过物理变化冷却固化的树脂或塑料化合物。各类热塑性聚合物有很多，例如聚烯烃、聚酰胺。也叫热塑性聚合物、热塑性树脂。

thermoplastic elastomer（热塑性弹性体）

类似于硫化橡胶的聚合物和混合物，在室温下可发生明显变形，应力除去后可恢复最初形状，但当加热到非固化状态时会表现出类似于热塑性塑料的塑性流动。热塑性弹性体通常包括坚硬区域和柔软区域，而且呈现许多化学类型（如烯烃类、聚氨酯、聚酯、聚酰胺和苯乙烯类）。热塑性弹性体的性能变化范围宽，但是都具有良好的冲击强度和韧性。主要是通过（共）挤出成型和（共）模具成型进行加工。用途包括汽车零部件、电线和电缆的绝缘包装、粘合剂、鞋以及机制品等。也叫热塑性橡胶、TPE、TPEL、TPV。

thermoplastic olefinic rubber（热塑性烯烃橡胶）

见 olefinic thermoplastic elastomer（烯烃类热塑性弹性体）。

thermoplastic polyamide rubber（热塑性聚酰胺橡胶）

见 polyamide thermoplastic elastomer（聚酰胺热塑性弹性体）。

thermoplastic polymer（热塑性聚合物）

见 thermoplastic（热塑性塑料）。

thermoplastic polyolefin rubber（热塑性聚烯烃橡胶）

见 olefinic thermoplastic elastomer（烯烃类热塑性弹性体）。

thermoplastic polyurethane（热塑性聚氨酯）

含刚性聚合物和弹性体聚合物的一系列聚氨酯，可重复地在加热情况下软化并在随后的冷却情况下硬化。

thermoplastic resin（热塑性树脂）

见 thermoplastic（热塑性塑料）。

thermoplastic rubber（热塑性橡胶）

见 thermoplastic elastomer（热塑性弹性体）。

thermoplastic styrenic rubber（热塑性聚苯乙烯类橡胶）

见 styrenic thermoplastic elastomer（苯乙烯热塑性弹性体）。

thermoset（热固性塑料）

经最终加工后本质上呈现不熔性和不溶性的树脂和塑料化合物。热固性塑料在制造和加工阶段是液体

状态，并且可以通过加热、氧化、辐射进行固化，也可用一些固化剂和催化剂进行固化。可通过聚合反应或交联反应进行固化，存在各种类型的热固性聚合物，例如醇酸树脂、酚醛树脂。也叫热固性树脂、热固性聚合物、热固性树脂。

thermoset resin（热固性树脂）

见 thermoset（热固性塑料）。

thermosetting elastomer（热固性弹性体）

一类聚合物，在室温下至少可拉伸到最初长度的两倍，拉伸或除去应力后，在短时间内回复到接近其最初长度。为得到这种弹性性能，必须对橡胶进行交联或硫化，通常是在交联剂和催化剂存在的情况下进行加热。有天然橡胶和合成橡胶两种，最重要的合成橡胶有烯烃橡胶、二烯烃类橡胶（腈，丁二烯橡胶，氯丁橡胶）、硅橡胶、聚氨酯橡胶。经常用作塑料的冲击改性剂和填充物。

thermosetting polymer（热固性聚合物）

见 thermoset（热固性塑料）。

thermosetting resin（热固性树脂）

见 thermoset（热固性塑料）。

thermotropic（热致液晶）

高分子的形状和表象会受到温度影响的一种材料。

thixotropy（触变性）

粘合剂的一种流体行为，即进行搅拌、混合或分散时会导致粘性降低，但静置时会变稠。

thread-cutting screw（车牙螺钉）

一种带有锋利切削边缘的自攻型螺钉。螺钉插入时滚牙螺钉可去除塑料碎片，以致产生的内应力较低。只有最小的装配是可行的。也见于 self-tapping screw（自攻螺钉）。

thread-forming screw（滚牙螺钉）

通过移动或变形塑性材料而形成螺纹的一种自攻型螺钉，塑性材料会围绕螺钉头流动。若不去除材料，在塑料内部会产生较大的应力。也见于 self-tapping screw（自攻螺钉）。

threaded mechanical insert（螺纹机械嵌件）

一种用于连接的金属自动攻螺纹螺杆，对带焊接零件的固定件有外锁特征，嵌件的内部螺纹允许重复组装或不组装。螺纹机械嵌件为塑料零件提供了高强度的接头，应力很低。

through transmission infrared welding（透射传输红外焊接）

一种红外焊接方法，在焊接表面，红外射线穿过不吸收红外能量的聚合物组成的元件到达其他吸收红外能量的聚合物组成的元件，在吸收聚合物中产生热量，并通过传导传递到不吸收聚合物，导致在焊接表面熔融。元件一起流动形成焊缝。也叫 TTIR。也见于 infrared welding（红外焊接）。

Ti

见 titanium（钛）。

tightening torque（上紧扭矩）

自攻螺钉被上紧的扭矩。上紧扭矩比驱动转矩大，但比剥离扭矩小。

titanium（钛）

高强度和硬度的金属，具有良好的韧性、抗腐蚀性、热传导性和声学性能，低密度，非磁性。为塑料的超声波焊接制造电极臂和调压器。也叫 Ti。

toluene（甲苯）

$C_6H_5CH_3$，是一种带有芳香味的无色液体。沸点是 110.7℃（231.3℉）；在 -94.5℃（-138.1℉）时凝固。溶于酒精、苯、乙醚，不溶于水。是易燃危险品，空气中的爆炸极限浓度是 1.2% ~7%；自燃温度

是536℃（997℉）。摄取、吸入或皮肤吸收有毒；在空气中的阈值是$100\times10^{-4}\%$。从煤焦油中提取或通过石油的催化转化得到。应用于高辛烷汽油和炸药（TNT）；可作为涂剂、涂层、树脂、石油、橡胶和乙烯基有机溶剂的溶剂，聚氨酯和聚酯制备过程中的化学中间体；用在糖精、内服药、染料、香水、洗涤剂、闪烁计数器中。也叫甲苯、苯基甲烷。

toluol（苯基甲烷）

见 toluene（甲苯）。

tooling nest（模具嵌套）

见 fixture（固定装置）。

torque（力矩）

角向力。

toughness（韧性）

材料通过塑性形变而不是破裂或断裂来完成能量吸收的一种性能。

TPE

见 thermoplastic elastomer（热塑性弹性体）。

TPEL

见 thermoplastic elastomer（热塑性弹性体）。

TPO

见 olefinic thermoplastic elastomer（烯烃类热塑性弹性体）。

TPU

见 thermoplastic polyurethane（热塑性聚氨酯）、urethane thermoplastic elastomer（聚氨酯热塑性弹性体）。

TPUR

见 thermoplastic polyurethanes（热塑性聚氨酯）、nonelastomeric thermoplastic polyurethane（非弹性热塑聚氨酯）。

TPV

见 thermoplastic elastomer（热塑性弹性体）。

transcrystalline growth（穿晶生长）

粘接过程中的一种表面处理技术，就是将粘附体浇铸于高能的金属载体上，导致塑胶的表面生成微晶，进而从塑性合金的内部生成棒状或圆柱状的球晶；通常认为通过将低分子量的材料引入内部而加强了表面强度。也可能出现表面氧化，提高表面活性和润湿性。穿晶生长的效果取决于注射条件，例如冷却速率和模具表面。一般应用于聚烯烃、聚酰胺和聚氨酯。

transducer（传感器）

一种将高频电能转化为高频机械振动的压电设备。也叫压电材料。

trichloroethane-1，1，2（三氯乙烷-1，1，2）

$CHCl_2CH_2Cl$，是一种有甜味的透明无色液体。溶于乙醚、酒精、酯和酮；不溶于水。难燃，在113.7℃（236.7℉）下沸腾。空气中的阈值是$10\times10^{-4}\%$；可被皮肤吸收。用于有机合成，并用作树脂、蜡、石油、动植物油和其他产品的溶剂。也叫乙烯基三氯化磷。

trichloroethylene（三氯乙烯）

$CHCl=CCl_2$，一种带有轻微氯仿味道的无色、可光反应的液体。溶于一般的有机溶剂；微溶于水。在86.7℃（188.1℉）下沸腾；不燃。不腐蚀金属，甚至是在有湿气存在的情况下。空气中的阈值是$50\times10^{-4}\%$，吸入有毒。禁止用于化妆品、药物、食物中；在一些情况下也禁止作为溶剂使用。通过四氯乙烷在石灰水或碱溶液的反应得到，或者应用水蒸气蒸馏法对四氯乙烷进行热分解得到。用于清除金属油渍、

干洗、涂料稀释、粘合剂、清理和干燥电子部件、纺织品加工，以及许多其他用途。

trigger force（触发力）

在超声波焊接中，在超声波振动开始之前施加在焊接部件上的力。由电极臂与待焊部件接触产生。在电极臂达到特定的触发力或距离之后，超声波振动开始。

trigger point（触发点）

在超声波焊接中，当电极臂已准备就绪，超声波振动开始时的那个时刻。在施加的钳夹力下而产生的超声波触发确保了重复焊接。当超声波振动被提前触发时不能得到重复焊接。电极臂接触到部件时将不能正面受控钳制，然而却呈现出活跃超声波。

TTIR

见 through transmission infrared welding（透射传输红外焊接）。

two-part adhesive（双组分粘合剂）

一种单体和催化剂或固化剂彼此分开的粘合剂。这两种反应性组分各有不确定的储存寿命，但必须在使用之前充分混合。在室温下或较高温度下固化是可以实现的。双组分粘合剂包括环氧单体和胺类硬化剂；聚氨酯和过氧化物引发胶粘体系，例如硫化硅、不饱和聚酯、丙烯酸酯类。也见于 one-part adhesive（单组分粘合剂）。

U

UF

见 urea resin（脲醛树脂）。

U-flange（U 形法兰）

描述与结合面相对的凹槽相适合的部件周边形状；在加工过程中用于加强或辅助定位。

UHMWPE

见 ultrahigh molecular weight polyethylene（超高分子量聚乙烯）。

ultimate elongation（断裂伸长率）

见 elongation（伸长率）。

ultimate seal strength（最终热封强度）

在拉伸测试中，在每单元的密封长度没出现密封失效的情况下，热封热塑性薄膜所能承受的最大力。

ultimate tensile strength（极限拉伸强度）

见 tensile strength（拉伸强度）。

ultrahigh molecular weight polyethylene（超高分子量聚乙烯）

一种分子量为（$3\sim5$）$\times10^6$的线性碳链聚乙烯，通过特殊条件下乙烯的齐格勒聚合反应制得。它具有很高的耐磨性、韧性、耐化学性、低摩擦系数，而且是自润滑的，但是不能融化。可以自粉末状进行加压成型或挤出成型来加工。用于轴承、齿轮或采矿和运输工具中的润滑面。也叫 UHMWPE。

ultrasonic spot welding（超声波点焊）

一种超声波焊接方法，即将两零件在设定的点进行接合。

ultrasonic swaging（超声波锻压）

一种组装方法，用超声波能量使配合组件中的一个形成一个塑料环或突起，以和另一部分相吻合。

ultrasonic weld force（超声波焊接力）

在超声波焊接中，在焊接过程中施加于接头的力。大于触发力。增强了接合区域的分子碰撞效果，提供快速的热建立。必须使振幅、发生器输出功率和接头的几何形状达到最优化效果。一般来说，高焊接力

伴随低振幅，低焊接力伴随高振幅。

ultrasonic welding（超声波焊接）

热塑性塑料的一种接合方法，在超声波频率（20～40kHz）下的能量用于产生低振幅的机械振动。结合面的振动压力产生摩擦热，使热塑性零件熔化，使它们流动在一起并连接。零件需要导能器来集中超声波能量。非结晶热塑性塑料比结晶型热塑性塑料更容易得到高质量的焊缝。

ultraviolet light（紫外光）

见 ultraviolet radiation（紫外线辐射）。

ultraviolet radiation（紫外线辐射）

是40～400nm波长区域的电磁辐射。太阳是地球上紫外线辐射的主要自然来源。人工来源有很多，包括紫外荧光灯。紫外线辐射会导致聚合物发生光降解和其他化学反应。注意：紫外光构成了太阳光很重要的一部分。也叫紫外线、UV光、UV辐射。

ultraviolet radiation exposure（紫外曝光）

粘结过程中的一种表面处理技术，就是对基质用高强度的紫外光进行照射。紫外曝光会导致聚合物链断裂或交联，或者是聚合物表面氧化。这个技术的效果取决于所用的辐射波长，通常用于聚烯烃。也叫UV暴露。

underwelding（未焊透）

粘结过程中在接头处几乎未产生热量，导致焊接强度很差。

unplasticized polyvinyl chloride（非塑性聚氯乙烯）

常用于建筑工业中的热塑性无定形材料，应用包括窗框、门和管道。也叫PVC-U、刚性PVC、UPVC。也见于 polyvinyl chloride（聚氯乙烯）。

UPVC

见 unplasticized polyvinyl chloride（非塑性聚氯乙烯）。

urea formaldehyde resin（脲醛树脂）

见 urea resin（脲树脂）。

urea plastic（脲醛塑料）

见 urea resin（脲树脂）。

urea resin（脲树脂）

甲醛和尿素经缩合聚合而得到的一种热固性树脂。脲树脂比三聚氰胺树脂具有更低的硬度、耐热性和耐潮湿性。无色透明，且很容易上色。脲树脂比酚醛树脂具有更高的拉伸强度和硬度，但抗冲击强度和耐热、耐潮湿性较低。脲树脂也可耐划、耐溶剂（包括热水），自燃。它们具有很好的刚性、耐电弧和耐轨道阻力。为了成功注射成型，必须对它们进行填充，它们对耐长时间的氧化和强酸强碱具有较低的抗性。此过程可以通过挤压和注射成型、注入或涂覆来完成。应用包括化妆品容器、家用器具、餐具、电子绝缘体、柜台和桌面的层压板、粘合剂和涂料。也叫UF、脲醛树脂、脲醛塑料。

urethane（脲烷）

见 nonelastomeric thermosetting polyurethane（非弹性热固性聚氨酯）。

urethane polymer（脲烷聚合物）

见 polyurethane（聚氨酯）。

urethane resin（脲烷树脂）

见 nonelastomeric thermosetting polyurethane（非弹性热固性聚氨酯）。

urethane thermoplastic elastomer（脲烷热塑性弹性体）

由含柔性链段和刚性链段的聚醚或聚氨酯组成。它们提供了很好的拉伸强度和伸长率，工作温度范围

是 16～121℃（60～250℉），粘附性很好，刚度范围较宽。相对于醚弹性体来说，酯弹性体具有较好的韧性，但在水中容易分解。两种类型都具有一定的吸湿性，在加工之前需要进行干燥。通过挤出成型、注射成型、薄膜吹塑和涂覆进行加工。模具需要模具脱模剂。主要应用包括管道、水箱、包装薄膜、热熔胶、鞋底、医疗设备、传输带、汽车部件和电缆皮。也叫聚氨酯热塑性橡胶、聚氨酯 TPE、PURTPE、PUTPE、TPU、脲烷热塑性橡胶、脲烷 TPE。

urethane thermoplastic rubber（脲烷热塑性橡胶）

见 urethane thermoplastic elastomer（脲烷热塑性弹性体）。

urethane TPE（脲烷 TPE）

见 urethane thermoplastic elastomer（脲烷热塑性弹性体）。

UV absorber（紫外吸收剂）

一种低分子量有机化合物，如苯甲酮衍生物，在紫外光波长区域能够吸收一定量的辐射能，因此可以保护那些受辐射能作用会破坏（降解）的材料（如塑料）。吸收的能量会被紫外吸收剂分散，不会出现经氢键的互变异构而产生的明显化学变化。也叫 UV 稳定剂。

UV exposure（UV 暴露）

见 ultraviolet radiation exposure（紫外曝光）。

UV light（UV 光）

见 ultraviolet radiation（紫外线辐射）。

UV radiation（UV 辐射）

见 ultraviolet radiation（紫外线辐射）。

UV stabilizer（UV 稳定剂）

见 UV absorber（紫外吸收剂）。

V

vapor pressure curve（蒸汽压力曲线）

一种描述物质（如水）性质的曲线，表明沸腾温度随沸腾压力的变化而产生的变化。表明物质呈液态或气态时温度和压力的组合。

viblade welding（刀口焊接）

摩擦搅拌焊接的一种变体，用来连接热塑性板材，通过沿接头来回移动的振荡的金属刀片产生热量。也见于 friction stir welding（搅拌摩擦焊接）。

vibration welding（振动焊接）

一种用来连接热塑性塑料的技术，通过线运动或角向运动的两个零件互相摩擦而产生摩擦热。当产生的热量在接合处融化了两零件时，振动终止，零件被压在一起并冷却。振动是低频率的（典型的是 120～240Hz），高振幅的（线性位移是 0.7～4.0mm，即 0.03～0.16in），且往复运动。振动焊接可产生高强度的接合，特别适用于大零件。也叫线性摩擦焊。

Vicat softening point（维卡软化点）

在一定的载荷和等速升温条件下，热塑性样品被 1mm^2 的压针压入一定深度时的温度。这个测试（ASTM D1525，ISO 306）用于无明确熔点的热塑性塑料。也叫维卡软化温度。

Vicat softening temperature（维卡软化温度）

见 Vicat softening point（维卡软化点）。

vinylbenzene（苯乙烯）

见 styrene（苯乙烯）。

vinyl ester resin（乙烯基树脂）

不饱和热固性塑料，通过环氧树脂的环氧丙基和不饱和羧酸进行酯化反应而得到。典型的情况是，用甲基丙烯酸对双酚 A 环氧树脂进行处理，然后和苯乙烯的反应性稀释剂混合。树脂的固化是通过乙烯基与酸酐的过氧化物催化加成聚合反应和羟基在室温或升高的温度下的交联反应实现的。固化的双酚 A 乙烯酯树脂具有很好的耐化学性，环氧酚醛乙烯酯树脂具有较好的耐热性和耐化学性，一般情况下乙烯基树脂都有较好的硬度和柔韧性，但固化时会收缩。通过缠绕成型、传递成型、拉挤成型、涂覆成型和层压成型来制备。应用于结构性复合材料、涂料、片状模塑料和化学仪器。也叫丙烯酸环氧树脂。

vinylidene fluoride hexafluoropropylene copolymer（偏氟乙烯六氟丙烯共聚物）

偏氟乙烯和六氟丙烯的热塑性共聚物。与不完全氟化的含氟聚合物相比，具有更好的热稳定性、抗粘性、介电性、耐磨性，以及耐化学性，但是在室温下机械强度和耐蠕变性较低。因为它的高熔融粘度，用传统的热塑性技术加工有难度。用途包括化学仪器、容器、薄膜和涂料。也见于 fluoroelastomer（氟橡胶）。

vinylidene fluoride hexafluoropropylene tetrafluoroethylene terpolymer（偏氟乙烯六氟丙烯四氟乙烯共聚物）

偏氟乙烯、六氟丙烯和四氟乙烯的热固性弹性聚合物，具有很好的耐化学性、耐热性和韧性。应用于汽车部件。也见于 fluoroelastomer（氟橡胶）。

vinyl resin（乙烯树脂）

乙烯基单体通过自由基聚合得到的热塑性塑料，可含也可不含其他不饱和单体。其中最重要的是氯乙烯聚合物。其他的还有醋酸乙烯、乙烯醇、偏氯乙烯、乙烯缩醛聚合物。它们的性能非常广泛。一般来说，它们表现出很好的耐候性、阻隔性和韧性，但容易被多数溶剂侵蚀，且热稳定性有限。通过注射、挤出、涂覆和薄膜工艺进行加工。应用非常广泛，尤其是用做薄膜和包装。

vinyl thermoplastic elastomer（乙烯热塑性弹性体）

乙烯合金的热塑性弹性体，有极好的难燃性，生烟低，介电性能，很低温度下仍有弹性、极佳的介电特性、较低韧性和热老化后的伸长保持性。通过挤出或挤出涂覆进行加工。应用于电缆皮和包裹电线。也叫乙烯 TPE。

vinyl TPE（乙烯 TPE）

见 vinyl thermoplastic elastomer（乙烯热塑性弹性体）。

vinyl trichloride（三氯乙烯）

见 trichloroethane-1，1，2（三氯乙烷-1，1，2）。

viscosity（粘性）

流体所表现出来的内部抗流动的性质，是剪切应力和剪切速率的比值。平衡的粘性为 $1dyn/cm^2$，即在速度为 1cm/s 的时候，使面积为 $1cm^2$ 的两平行液体表面相互分离所需的力。

viscosity ratio（粘度比）

见 relative viscosity（相对粘度）。

vulcanizate（硫化橡胶）

通过加热和使用硫化剂、促进剂对橡胶进行硫化（化学固化或交联），使其不可逆地从塑性主导材料转化为弹性主导材料。

vulcanizate crosslinks（硫化交联）

由硫化引起的橡胶中聚合物链之间的化学连接。

vulcanization（硫化）

对橡胶或弹性体的一种加工，改变它们的化学结构，使橡胶和弹性体塑性减少，弹性增加，更耐溶胀。是一种应用加热和硫黄或其他合适的作用剂反应而完成的不可逆的加工。

W

warpage（翘曲）

见 warping（弯曲）。

warping（弯曲）

由于不均匀的内部应力（如不均匀的热收缩）引起的塑料或橡胶物质原有形状的尺寸扭曲或偏差。也叫翘曲。

water swell（水膨胀）

由于吸收水而引起的材料体积的膨胀。

Weissenburg effect（魏森堡效应）

材料向内流动的趋势。非牛顿的、弹性材料正应力的改变，导致材料沿着有两个同心旋转的柱体的内部圆柱体上升，即使有离心力作用。

weldability（可焊性）

材料被焊接以得到可靠连接的方便性。

weld factor（焊接系数）

焊接强度与接合区域外部强度的比值，一般由拉伸应力测试决定。也叫接头效率、焊接因数。

welding amplitude（焊接振幅）

焊接过程中所使用的振幅。在类似于超声波焊接的振动的振动运动中，从平衡位置到最大位移点的距离。会随着焊接工艺和被焊接连接的几何形状和组成的改变而变化。

welding by distance（位移焊接）

一种热工具焊接的形式，加热盘和固定器上的机械停止用于控制焊接零件的尺寸。也见于 heated tool welding（热工具焊接）、welding by pressure（压力焊接）。

welding by pressure（压力焊接）

一种热工具焊接的形式，加热后熔融塑料的流动受加施加在热盘和零件上的特定压力的控制。必须精确地控制压力，熔融厚度和熔融粘度的改变会导致最终尺寸的改变。也见于 heated tool welding（热工具焊接）、welding by distance（位移焊接）。

welding factor（焊接因数）

见 weld factor（焊接系数）。

welding frequency（焊接频率）

用于焊接过程的频率。单位时间内的循环或者振动的数量，通常以秒计。焊接频率的变化取决于所用的焊接工艺以及焊接零件的几何尺寸与组成。焊接频率的范围从振动焊接的 120Hz 和 240Hz 到微波焊接的 2～10GHz。也见于 frequency（频率）。

welding pressure（焊接压力）

焊接过程中施加于零件的压力，以使部件固定且使粘结更加紧密。焊接压力取决于所用的焊接工艺以及焊接零件的几何尺寸与组成。

welding time（焊接时间）

焊接中的一个工艺参数，其定义取决于焊接工艺——振动作用于连接部位的时间（超声波焊接），零件在压力作用下进行冷却和固化而保持的时间（热工具焊接），自旋时间和冷却时间（旋转焊接）。焊接时间也取决于其他工艺参数，例如焊接振幅、焊接频率、焊接压力、功率水平、温度等。

wetting（润湿）

液体在表面铺开（有时吸收）。在粘结过程中，当液态粘合剂的表面张力低于被粘结基材的表面张力

时，润湿就会发生。良好的表面润湿对于高强度的粘结来说是必需的；当液体在表面呈现液滴状时润湿效果较差。可以通过对零件表面预处理来提高润湿性。

working life（适用期）

从混合双组分粘合剂到粘性增加禁止粘合剂运用到零件表面的时间。也叫可使用时间。

Y

yellowing（黄化）

塑料或涂料这些接近白色或透明材料的变黄现象，主要是由于光线照射、加热老化、风化等引起材料的降解。常用黄化指数这个术语来测定。

供货商名录

1　热板焊接装备

ATM Automation Ltd
Blaby Industrial Park
Winchester Avenue
Blaby
Leicestershire
LE8 4GZ
UK
Tel：+44（0）116 277 3607
Web：www. atmautomation. com

Bielomatik Leuze GmbH & Co. KG
Daimlerstrasse 6-10
D-72639 Neuffen
Germany
Tel：+49（0）7025 120
Web：www. bielomatik. com

Branson Ultrasonics Corp.
41 Eagle Road
Danbury
CT 06813-1961
USA
Tel：+1 203 796 0400
Web：www. bransonultrasonics. com

Demtech Services, Inc.
6414 Capitol Avenue
Diamond Springs
CA 95619
USA
Tel：+1 530 621 3200
Web：www. demtech. com

Dukane Intelligent Assembly Solutions
2900 Dukane Drive
St. Charles
IL 60174
USA
Tel：+1 630 797 4900
Web：www. dukcorp. com

Extol Inc.
651 Case Karsten Drive
Zeeland
MI 49464
USA
Tel：+1 616 748 9955
Web：www. extolinc. com

Flumec AG
Postfach 125
Industriestrasse 1
CH-8890 Flums
Switzerland
Tel：+41（0）81 734 1611
Web：www. flumec. ch

Forward Technology
260 Jenks Avenue
Cokato
MN 55321
USA
Tel：+1 320 286 2578
Web：www. forwardtech. com

Frank GmbH
Starkenburgstrasse 1
D-64546 Mörfelden-Walldorf
Germany
Tel：+49（0）6105 40850
Web：www. frank-gmbh. de

Fusion Group plc
Smeckley Wood Close
Chesterfield Trading Estate
Chesterfield
S41 9PZ
UK
Tel: +44 (0) 1246 455 998
Web: www. fusiongroup. co. uk

Georg Fischer Piping Systems Ltd
CH-8201 Schaffhausen
Switzerland
Tel: +41 (0) 52 631 1111
Web: www. piping. georgfischer. com

Hy-Ram Engineering Ltd
Pelham Street
Mansfield
NG18 2EY
UK
Tel: +44 (0) 1623 422 982
Web: www. hyram. com

Ingenia GmbH
Hauptstrasse 72
D-56858 Altlay
Germany
Tel: +49 (0) 6543 50490
Web: www. ingenia-gmbh. de

KLN Ultraschall AG
Siegfriedstrasse 124
D-64646 Heppenheim
Germany
Tel: +49 (0) 6252 140
Web: www. kln. de

KWH Pipe Ltd
PO Box 21
FI-65101 Vaasa Finland
Tel: +358 6 326 5511
Web: www. kwhpipe. com

McElroy Manufacturing, Inc.
833 North Fulton
Tulsa
OK 74115-6408
USA
Tel: +1 918 836 8611
Web: www. mcelroy. com

Mecasonic UK Ltd
Unit 18
Business Centre West
Avenue One
Letchworth
Herts
SG6 2HB
UK
Tel: +44 (0) 1462 678784
Web: www. mecasonic. co. uk

Met-L-Tec, Inc.
7156 Sulier Drive
Temperance
MI 48182-9510
USA
Tel: +1 734 847 7004
Web: www. met-l-tec. com

O. M. I. S. A. Srl
Via Carlo Porta, 9
20050 Sovico (MI)
Italy
Tel: +39 039 232 3028
Web: www. omisa. it

PF-Schweisstechnologie GmbH
Karl-Broeger-Strasse 10
D-36304 Alsfeld
Germany
Tel: +49 (0) 6631 96520
Web: www. pf-schweisstechnologie. de

Ritmo SpA
Via Volta 7

35033 Bresseo (Padova)
Italy
Tel: +39 049 99 01 888
Web: www. ritmo. it

Simtech Industrial Products
47a Runway Road
Bristol Industrial Park
Levittown
PA 19057
USA
Tel: +1 215 547 0444
Web: www. simtechusa. com

Sirius Electric
c. so Novara 121
27029 Vigevano (PV)
Italy
Tel: +39 0381 325 610
Web: www. siriuselectric. it

Sonics & Materials, Inc.
53, Church Hill Road
Newtown
CT 06470-1614
USA
Tel: +1 203 270 4600
Web: www. sonicsandmaterials. com

Sonotronic Nagel GmbH
Becker-Göring-Strasse 17
D-76307 Karlsbad-Ittersbach
Germany
Tel: +49 (0) 7248 91 660
Web: www. sonotronic. com

ToolTex Inc.
6160 Seeds Road
Grove City
OH 43123-8603
USA
Tel: +1 614 539 3222
Web: www. tooltex. com

Trinetics Group Inc.
1885 Armstrong Drive
Titusville
FL 32780
USA
Tel: +1 321 383 3456
Web: www. trineticsgroup. com

Ultra Sonic Seal
20 Turner Industrial Way
Aston
PA 19014
USA
Tel: +1 610 497 5150
Web: www. ultrasonicseal. com

Wegener GmbH
Vaalserstrasse 81
D-52074 Aachen
Germany
Tel: +49 (0) 241 705 2215
Web: www. wegenerwelding. de

Widos Wilhelm Dommer Söhne GmbH
Einsteinstrasse 5
D-71254 Ditzingen-Heimerdingen
Germany
Tel: +49 (0) 7152 99 390
Web: www. widos. de

Wil-Key International Sdn. Bhd.
18, Jalan Industri USJ 1/14
Taman Industrian USJ 1
47610 Subang Jaya
Malaysia
Tel: +603 8024 0612
Web: www. wil-key. com. my

2 超声波焊接装备

Bielomatik Leuze GmbH & Co. KG
Daimlerstrasse 6-10
D-72639 Neuffen
Germany

Tel: +49 (0) 7025 120
Web: www. bielomatik. com

Branson Ult. rasonics Corp.
41 Eagle Road
Danbury
CT 06813-1961
USA
Tel: +1 203 796 0400
Web: www. bransonultrasonics. com

Dukane Intelligent Assembly Solutions
2900 Dukane Drive
St. Charles
IL 60174
USA
Tel: +1 630 797 4900
Web: www. dukcorp. com

FFR Ultrasonics Ltd
40-44 Marsden Avenue
Queniborough
Leicestershire
LE7 8FL
UK
Tel: +44 (0) 116 260 6016
Web: www. ffr-ultrasonics. co. uk

Forward Technology
260 Jenks Avenue
Cokato
MN 55321
USA
Tel: +1 320 286 2578
Web: www. forwardtech. com

Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG
Descostrasse 3-9
D-76307 Karlsbad
Germany
Tel: +49 (0) 7248 790
Web: www. herrmannultraschall. com

KLN Ultraschall AG
Siegfriedstrasse 124
D-64646 Heppenheim
Germany
Tel: +49 (0) 6252 140
Web: www. kln. de

Mecasonic UK Ltd
Unit 18
Business Centre West
Avenue One
Letchworth
Herts
SG6 2HB
UK
Tel: +44 (0) 1462 678784
Web: www. mecasonic. co. uk

Rinco Ultrasonics AG
Industriestrasse 4
CH-8590 Romanshorn
Switzerland
Tel: +41 (0) 71 466 4100
Web: www. rincoultrasonics. com

Sanden Electronic Equipment Ltd
9/F, Block E, Mai Tak Industrial Building
221 Wai Yip Street
Kwun Tong, Kowloon
Hong Kong
Tel: +852 2345 1111
Web: www. sanden. com. hk

Schober GmbH
Industriestrasse 2
D-71735 Eberdingen
Germany
Tel: +49 (0) 7042 7900
Web: www. schober-gmbh. com

Sirius Electric
c. so Novara 121
27029 Vigevano (PV)

Italy
Tel：+39 0381 325 610
Web：www. siriuselectric. it

Sonic Italia Srl
Viale De Gasperi, 76
20017 Rho (MI)
Italy
Tel：+39 02 939 03130
Web：www. sonicitalia. it

Sonics & Materials, Inc.
53, Church Hill Road
Newtown
CT 06470-1614
USA
Tel：+1 203 270 4600
Web：www. sonicsandmaterials. com

Sonobond Ultrasonics
1191 McDermott Drive
West Chester
PA 19380
USA
Tel：+1 610 696 4710
Web：www. sonobondultrasonic. com

Sonotronic Nagel GmbH
Becker-Göring-Strasse 17
D-76307 Karlsbad-Ittersbach
Germany
Tel：+49 (0) 7248 91 660
Web：www. sonotronic. com

Telsonic Group
Industriestrasse 6b
CH-9552 Bronschhofen
Switzerland
Tel：+41 (0) 71 913 9888
Web：www. telsonic. com

Ultra Sonic Seal
20 Turner Industrial Way
Aston
PA 19014
USA
Tel：+1 610 497 5150
Web：www. ultrasonicseal. com

Ultrasonic Steckmann GmbH
Hauptstrasse 24
D-61279 Grävenwiesbach
Ortsteil Hundstadt
Germany
Tel：+49 (0) 6086 1818
Web：www. ultrasonics. de

Widmann Maschinen Vertriebs GmbH
Siemensstrasse 19
D-73278 Schlierbach
Germany
Tel：+49 (0) 7021 97330
Web：www. widmann-maschinen. de

Xfurth Ltd
Unit 4
Firbank Industrial Estate
Dallow Road
Luton
Bedfordshire
LU1 1TW
UK
Tel：+44 (0) 1582 436000
Web：www. xfurth. com

3 振动焊接装备

Bielomatik Leuze GmbH & Co. KG
Daimlerstrasse 6-10
D-72639 Neuffen
Germany
Tel：+49 (0) 7025 120
Web：www. bielomatik. com

Branson Ultrasonics Corp.
41 Eagle Road
Danbury

CT 06813-1961
USA
Tel：+1 203 796 0400
Web：www. bransonultrasonics. com

Dukane Intelligent Assembly Solutions
2900 Dukane Drive
St. Charles
IL 60174
USA
Tel：+1 630 797 4900
Web：www. dukcorp. com

Forward Technology
260 Jenks Avenue
Cokato
MN 55321
USA
Tel：+1 320 286 2578
Web：www. forwardtech. com

KLN Ultraschall AG
Siegfriedstrasse 124
D-64646 Heppenheim
Germany
Tel：+49 (0) 6252 140
Web：www. kln. de

Sonics & Materials, Inc.
53, Church Hill Road
Newtown
CT 06470-1614
USA
Tel：+1 203 270 4600
Web：www. sonicsandmaterials. com

Ultra Sonic Seal
20 Turner Industrial Way
Aston
PA 19014
USA
Tel：+1 610 497 5150
Web：www. ultrasonicseal. com

4 旋转焊接装备

Branson Ultrasonics Corp.
41 Eagle Road
Danbury
CT 06813-1961
USA
Tel：+1 203 796 0400
Web：www. bransonultrasonics. com

Dukane Intelligent Assembly Solutions
2900 Dukane Drive
St. Charles
IL 60174
USA
Tel：+1 630 797 4900
Web：www. dukcorp. com

Extol Inc.
651 Case Karsten Drive
Zeeland
MI 49464
USA
Tel：+1 616 748 9955
Web：www. extolinc. com

Forward Technology
260 Jenks Avenue
Cokato
MN 55321
USA
Tel：+1 320 286 2578
Web：www. forwardtech. com

KLN Ultraschall AG
Siegfriedstrasse 124
D-64646 Heppenheim
Germany
Tel：+49 (0) 6252 140
Web：www. kln. de

Lycro AS
N-7120 Leksvik

Norway

Tel：+47 748 54700
Web：www. lycro. com

Mecasonic UK Ltd
Unit 18
Business Centre West
Avenue One
Letchworth
Herts
SG6 2HB
UK
Tel：+44 (0) 1462 678784
Web：www. mecasonic. co. uk

Met-L-Tec，Inc.
7156 Sulier Drive
Temperance
MI 48182-9510
USA
Tel：+1 734 847 7004
Web：www. met-l-tec. com

Olsen Manufacturing Company，Inc.
4353 Delemere Boulevard
Royal Oak
MI 48073
USA
Tel：+1 248 549 4200
Web：www. olsenmfg. com

Sonics & Materials，Inc.
53，Church Hill Road
Newtown
CT 06470-1614
USA
Tel：+1 203 270 4600
Web：www. sonicsandmaterials. com

Sonitek
84 Research Drive
Milford
CT 06460
USA
Tel：+1 203 878 9321
Web：www. sonitek. com

Trinetics Group Inc.
1885 Armstrong Drive
Titusville
FL 32780
USA
Tel：+1 321 383 3456
Web：www. trineticsgroup. com

Ultra Sonic Seal
20 Turner Industrial Way
Aston
PA 19014
USA
Tel：+1 610 497 5150
Web：www. ultrasonicseal. com

Widos Wilhelm Dommer Sö hne GmbH
Einsteinstrasse 5
D-71254 Ditzingen-Heimerdingen
Germany
Tel：+49 (0) 7152 99 390
Web：www. widos. de

Xfurth Ltd
Unit 4
Firbank Industrial Estate
Dallow Road
Luton
Bedfordshire
LU1 1TW
UK
Tel：+44 (0) 1582 436000
Web：www. xfurth. com

5 高频焊接装备

Alloyd Company
1401 Pleasant Street
DeKalb

IL 60115
USA
Tel: +1 815 756 1623
Web: www.scapackaging.alloyd.com

Coaxial Power Systems Ltd
Spectrum House
Finmere Road
Eastbourne
East Sussex
BN22 8QL
UK
Tel: +44 (0) 1323 639974
Web: www.coaxialpower.com

Colpitt BV
Kamerlingh Onnesstraat 40
2041 CC Zandvoort
The Netherlands
Tel: +31 23 571 5941
Web: www.colpitt.nl

Cosmos Kabar
140 Schmitt Boulevard
Farmingdale
NY 11735
USA
Tel: +1 631 249 2535
Web: www.cosmos-kabar.com

F. I. A. B. HF AB
Datavägen 5
Box 10012
SE-45329 Lysekil
Sweden
Tel: +46 523 15040
Web: www.fiabhf.se

Forsstrom High Frequency AB
PO Box 55
SE-45322 Lysekil
Sweden
Tel: +46 523 66 6600
Web: www.forsstrom.com

G. E. A. F. Srl
Via Roma, 26
43030 Calestano
Parma
Italy
Tel: +39 0525 528 122
Web: www.geaf.it

High Frequency Technology Company, Inc.
172 Brook Avenue
Deer Park
NY 11729
USA
Tel: +1 800 342 3020
Web: www.rfwelding.com

Hisen Enterprises Co., Ltd
540 Wan Shou Road
Sec 1, Kueishan
Taoyuan
Taiwan
Tel: +886 2 820 90214
Web: www.hisen.com.tw

Nemeth Engineering Associates, Inc.
5901 West Highway 22
Crestwood
KY 40014
USA
Tel: +1 502 241 1502
Web: www.nemeth-engineering.com

Northwest RF Corp.
342 South Evergreen
Bensenville
IL 60106
USA
Tel: +1 630 350 4770
Web: www.northwestrf.com

Relco UK Ltd
Imperial Way
Watford
WD24 4JP
UK
Tel: +44 (0) 1923 241231
Web: www. relco. co. uk

Sanden Electronic Equipment Ltd
9/F, Block E, Mai Tak Industrial Building
221 Wai Yip Street
Kwun Tong, Kowloon
Hong Kong
Tel: +852 2345 1111
Web: www. sanden. com. hk

SEBRA
100 North Tucson Boulevard
Tucson
AZ 85716
USA
Tel: +1 520 881 6555
Web: www. sebra. com

Stanelco plc
Starpol Technology Centre
North Road
Marchwood
Southampton
SO40 4BL
UK
Tel: +44 (0) 2380 867100
Web: www. stanelco. co. uk

Thermex-Thermatron
11524 Commonwealth Drive
Louisville
KY 40299
USA
Tel: +1 502 266 5454
Web: www. thermex-thermatron. com

Weldan 2002 ApS
Granlyet 8
DK-3540 Lynge
Denmark
Tel: +45 4818 8000
Web: www. weldan. dk

Zemat Technology Group
Zeromskiego 48/50
90-626 Łódź
Poland
Tel: +4842 632 8484
Web: www. zemat. com

6 热气体焊接装备

BAK Thermoplastic Welding Technology
Birkenweg 3
CH-6056 Kägiswil
Switzerland
Tel: +41 41 661 2250
Web: www. bak-ag. com

Demtech Services, Inc.
6414 Capitol Avenue
Diamond Springs
CA 95619
USA
Tel: +1 530 621 3200
Web: www. demtech. com

Forsthoff GmbH
Freiheitstrasse 24
D-42719 Solingen
Germany
Tel: +49 (0) 212 33 6052
Web: www. forsthoffwelding. com

HSK Kunststoff Schweisstechnik GmbH
Am Turm 9
D-53721 Siegburg
Germany
Tel: +49 (0) 2241 52727
Web: www. schweissextruder. de

Kamweld Technologies, Inc.
90 Access Road
Norwood
MA 02062
USA
Tel: +1 781 762 6922
Web: www. kamweld. com

Laramy Products LLC
PO Box 1168
40, Sandy Lane
Lyndonville
VT 05851
USA
Tel: +1 802 626 9328
Web: www. laramyplasticwelders. com

Leister Process Technologies
Riedstrasse
CH-6060 Sarnen
Switzerland
Tel: +41 41 662 7474
Web: www. leister. com

Seelye-Eiler Industrial Plastic Products
9700 Newton Avenue South
Bloomington
MN 55431
USA
Tel: +1 952 881 2658
Web: www. seelyeplastics. com

Steinel Vertrieb GmbH
Dieselstrasse 80-84
D-33442 Herzebrock-Clarholz
Germany
Tel: +49 (0) 5245 4480
Web: www. steinel. de

Tempatron Ltd
5 Darwin Close
Reading
Berkshire
RG2 0TB
UK
Tel: +44 (0) 118 931 4062
Web: www. tempatron. co. uk

Vulkan AG
Trischlistrasse 23
CH-9400 Rorschach
Switzerland
Tel: +41 (0) 71 844 7888
Web: www. vulkanag. ch

Wegener GmbH
Vaalserstrasse 81
D-52074 Aachen
Germany
Tel: +49 (0) 241 705 2215
Web: www. wegenerwelding. de

Zinser Schweisstechnik GmbH
Daimlerstrasse 4
D-73095 Albershausen
Germany
Tel: +49 (0) 7161 5050
Web: www. zinser. de

7 挤出焊接装备

BAK Thermoplastic Welding Technology
Birkenweg 3
CH-6056 Kägiswil
Switzerland
Tel: +41 41 661 2250
Web: www. bak-ag. com

Bauku GmbH
Industriegelände 9
D-51674 Wiehl
Germany
Tel: +49 (0) 2262 72070
Web: www. bauku. de

Demtech Services, Inc.
6414 Capitol Avenue
Diamond Springs
CA 95619
USA
Tel: +1 530 621 3200
Web: www. demtech. com

Dohle Extrusiontechnik GmbH
Eitorferstrasse 1
D-53809 Ruppichteroth
Germany
Tel: +49 (0) 2295 902960
Web: www. dohle-extruder. de

Drader Injectiweld Inc.
5750 50th Street, N. W.
Edmonton
Alberta T6B 2Z8
Canada
Tel: +1 780 440 2231
Web: www. drader. com

HSK Kunststoff Schweisstechnik GmbH
Am Turm 9
D-53721 Siegburg
Germany
Tel: +49 (0) 2241 52727
Web: www. schweissextruder. de

KWH Pipe Ltd
PO Box 21
FI-65101 Vaasa
Finland
Tel: +358 6 326 5511
Web: www. kwhpipe. com

Leister Process Technologies
Riedstrasse
CH-6060 Sarnen
Switzerland
Tel: +41 41 662 7474
Web: www. leister. com

Munsch Kunststoff-Schweisstechnik GmbH
Im Staudchen
D-56235 Ransbach-Baumbach
Germany
Tel: +49 (0) 26 238 9880
Web: www. munsch-kunststoff-schweisstechnik. de

Ritmo SpA
Via Volta 7
35033 Bresseo (Padova)
Italy
Tel: +39 049 99 01 888
Web: www. ritmo. it

Wegener GmbH
Vaalserstrasse 81
D-52074 Aachen
Germany
Tel: +49 (0) 241 705 2215
Web: www. wegenerwelding. de

Wil-Key International Sdn. Bhd.
18, Jalan Industri USJ 1/14
Taman Industrian USJ 1
47610 Subang Jaya
Malaysia
Tel: +603 8024 0612
Web: www. wil-key. com. my

8 激光焊接装备

Bielomatik Leuze GmbH & Co. KG
Daimlerstrasse 6-10
D-72639 Neuffen
Germany
Tel: +49 (0) 7025 120
Web: www. bielomatik. com

Branson Ultrasonics Corp.
41 Eagle Road
Danbury
CT 06813-1961
USA
Tel: +1 203 796 0400

Web: www. bransonultrasonics. com

Carl Baasel Lasertechnik GmbH & Co. KG
Petersbrunnerstrasse lb
D-82319 Starnberg
Germany
Tel: +49 (0) 8151 7760
Web: www. rofin. com

Control Micro Systems
4420 Metric Drive
Winter Park
FL 32792
USA
Tel: +1 407 679 9716
Web: www. plastic-laser-welding. com

Dukane Intelligent Assembly Solutions
2900 Dukane Drive
St. Charles
IL 60174
USA
Tel: +1 630 797 4900
Web: www. dukcorp. com

Fisba Optik AG
Rorschacherstrasse 268
CH-9016 St Gallen
Switzerland
Tel: +41 (0) 71 282 3131
Web: www. fisba. ch

Jenoptik Laser Technologies
8020 Kensington Court
Brighton
MI 48116
USA
Tel: +1 248 446 9540
Web: www. lasertechnologies-jenoptik. com

Laser Lines Ltd
Beaumont Close
Banbury
Oxon
OX16 1TH
UK
Tel: +44 (0) 1295 672500
Web: www. laserlines. co. uk

Leister Process Technologies
Riedstrasse
CH-6060 Sarnen
Switzerland
Tel: +41 41 662 7474
Web: www. leister. com

LPKF Laser & Electronics AG
Plastics Welding Division
Gundstrasse 15
D-91056 Erlangen
Germany
Tel: +49 (0) 9131 616570
Web: www. laserquipment. com

Prolas GmbH
St. Jobser-Strasse 53
D-52146 Würselen
Germany
Tel: +49 (0) 2405 47170
Web: www. prolas. de

Sonotronic Nagel GmbH
Becker-Göring-Strasse 17
D-76307 Karlsbad-Ittersbach
Germany
Tel: +49 (0) 7248 91 660
Web: www. sonotronic. com

SPI Lasers
3 Wellington Park
Tollbar Way
Hedge End
Southampton
SO30 2QU
UK
Tel: +44 (0) 1489 779696

Web：www. spilasers. com

9 红外焊接装备

Agru Kunststofftechnik GmbH
A-4540 Bad Hall
Austria
Tel：+43 (0) 7258 7900
Web：www. agru. at

Forward Technology
260 Jenks Avenue
Cokato
MN 55321
USA
Tel：+1 320 286 2578
Web：www. forwardtech. com

Georg Fischer Piping Systems Ltd
CH-8201 Schaffhausen
Switzerland
Tel：+41 (0) 52 631 1111
Web：www. piping. georgfischer. com

Heraeus Noblelight
I-R Division
Unit 1, Millennium Court
Clayhill Industrial Estate
Buildwas Road
Neston
Cheshire
CH64 3UZ
UK
Tel：+44 (0) 151 353 2710
Web：www. heraeus-noblelight. com

Simtech Industrial Products
47a Runway Road
Bristol Industrial Park
Levittown
PA 19057
USA
Tel：+1 215 547 0444
Web：www. simtechusa. com

Trinetics Group Inc.
1885 Armstrong Drive
Titusville
FL 32780
USA
Tel：+1 321 383 3456
Web：www. trineticsgroup. com

Widos Wilhelm Dommer Söhne GmbH
Einsteinstrasse 5
D-71254 Ditzingen-Heimerdingen
Germany
Tel：+49 (0) 7152 99 390
Web：www. widos. de

10 电阻植入焊接装备

Agru Kunststofftechnik GmbH
A-4540 Bad Hall
Austria
Tel：+43 (0) 7258 7900
Web：www. agru. at

Caldervale Technology Ltd
Bretfield Court
Bretton Street Industrial Estate
Dewsbury
West Yorkshire
WF12 9DB
UK
Tel：+44 (0) 1924 469571
Web：www. caldertech. com

Fusion Group plc
Smeckley Wood Close
Chesterfield Trading Estate
Chesterfield
S41 9PZ
UK
Tel：+44 (0) 1246 455 998
Web：www. fusiongroup. co. uk

Georg Fischer Piping Systems Ltd
CH-8201 Schaffhausen

Switzerland
Tel：+41 (0) 52 631 1111
Web：www. piping. georgfischer. com

J Sauron SA
19 Rue Pierre Josse
Z. I. Les Bordes
CE 2413
91924 Bondoufle Cedex
France
Tel：+33 (0) 169 91 4800
Web：www. j-sauron. com

KWH Pipe Ltd
PO Box 21
FI-65101 Vaasa
Finland
Tel：+358 6 326 5511
Web：www. kwhpipe. com

MSA Engineering Systems Ltd
3 Assured Drive
Thurmaston
Leicester
LE4 8BB
UK
Tel：+44 (0) 116 260 8866
Web：www. msa-engineering. co. uk

PF-Schweisstechnologie GmbH
Karl-Broeger-Strasse 10
D-36304 Alsfeld
Germany
Tel：+49 (0) 6631 96520
Web：www. pf-schweisstechnologie. de

11 感应焊接装备

Emabond Solutions
49 Walnut Street
Norwood
NJ 07648
USA
Tel：+1 201 767 7400
Web：www. emabond. com

Lepel Corp.
730 Larry Court
Waukesha
WI 53186
USA
Tel：+1 262 782 0450
Web：www. cap-sealing. com

Relco UK Ltd
Imperial Way
Watford
WD24 4JP
UK
Tel：+44 (0) 1923 241231
Web：www. relco. co. uk

Sonotronic Nagel GmbH
Becker-Göring-Strasse 17
D-76307 Karlsbad-Ittersbach
Germany
Tel：+49 (0) 7248 91 660
Web：www. sonotronic. com

12 热封焊接装备

Aline Heat Seal Corp.
13844 Struikman Road
Cerritos
CA 90703
USA
Tel：+1 562 229 9727
Web：www. alinesys. com

Alloyd Company
1401 Pleasant Street
DeKalb
IL 60115
USA
Tel：+1 815 756 1623
Web：www. scapackaging. alloyd. com

Audion Elecktro
Hogeweyselaan 235
1382 JL Weesp
The Netherlands
Tel: +31 (0) 294 491717
Web: www. audion. com

Cibra Nova snc
Via Brescia 16
20063 Cernusco sul Naviglio (Milano)
Italy
Tel: +39 02 9210 4927
Web: www. cibra. it

Clamco Corp.
12900 Plaza Drive
Cleveland
OH 44130
USA
Tel: +1 216 267 1911
Web: www. clamcocorp. com

Colpitt BV
Kamerlingh Onnesstraat 40
2041 CC Zandvoort
The Netherlands
Tel: +31 23 571 5941
Web: www. colpitt. nl

Hawo GmbH
Obere Au 2-4
D-74847 Obrigheim
Germany
Tel: +49 (0) 6261 97700
Web: www. hawo. com

Healey Packaging Ltd
22 Bartel Close
Hemel Hempstead
Herts
HP3 8LX
UK
Tel: +44 (0) 1442 244771
Web: www. healeypackaging. co. uk

Hulme Martin Heat Sealers Ltd
Unit 5B
Country Business Centre
White Cottage Farm
Lucas Green Road
Woking
Surrey
GU24 9LZ
UK
Tel: +44 (0) 1483 476767
Web: www. hulmemartin. co. uk

Kettenbaum Folienschweisstechnik GmbH & Co. KG
Asselborner Weg 14-16
D-51429 Bergisch-Gladbach
Germany
Tel: +49 (0) 2204 8390
Web: www. folienschweisstechnik. com

Packaging Aids Corp. /Vertrod
25 Tiburon Street
San Rafael
CA 94901
USA
Tel: +1 415 454 4868
Web: www. pacmachinerygroup. com

Packaging Automation Ltd
Parkgate Industrial Park
Knutsford
Cheshire
WA16 8XW
UK
Tel: +44 (0) 1565 75500
Web: www. pal. co. uk

Rische + Herfurth GmbH
Kedenburgstrasse 53-59
D-22041 Hamburg
Germany

Tel：+49 (0) 4065 69030
Web：www. polystar-hamburg. de

Sanden Electronic Equipment Ltd
9/F, Block E, Mai Tak Industrial Building
221 Wai Yip Street
Kwun Tong, Kowloon
Hong Kong
Tel：+852 2345 1111
Web：www. sanden. com. hk

S-DAI Industrial Co. Ltd
32, Alley 16
Lane 418
Chien-Te St
East District Taichung
Taiwan
Tel：+886 4 2283 3456
Web：www. s-dai. com. tw

Thermal Press International, Inc.
341 Stealth Ct.
Livermore
CA 94551
USA
Tel：+1 925 454 9800
Web：www. thermalpress. com

Widmann Maschinen Vertriebs GmbH
Siemensstrasse 19
D-73278 Schlierbach
Germany
Tel：+49 (0) 7021 97330
Web：www. widmann-maschinen. de

Zed Industries, Inc.
PO Box 458
3580 Lightner Road
Vandalia
OH 45377
USA
Tel：+1 937 667 8407
Web：www. zedindustries. com

13 无逸料焊接装备

Agru Kunststofftechnik GmbH
A-4540 Bad Hall
Austria
Tel：+43 (0) 7258 7900
Web：www. agru. at

Engiplast Inc.
105 River Oaks Drive
PO Box 1023
Gatesville
TX 76528
USA
Tel：+1 254 865 9444
Web：www. engiplastinc. com

Georg Fischer Piping Systems Ltd
CH-8201 Schaffhausen
Switzerland
Tel：+41 (0) 52 631 1111
Web：www. piping. georgfischer. com

14 粘合剂供应商

3M
Industrial Tape and Specialities Division
3M Center, Building 220-7E-01
St. Paul
MN 55144-1000
USA
Tel：+1 888 364 3577
Web：www. 3m. com

Ablestik
20021 Susana Road
Rancho Dominguez
CA 90221
USA
Tel：+1 310 764 4600
Web：www. ablestik. com

Adhesives Research, Inc.
400 Seaks Run Road
PO Box 100
Glen Rock
PA 17327
USA
Tel: +1 717 235 7979
Web: www. adhesivesresearch. com

Apollo Chemicals Ltd
Sandy Way
Amington Industrial Estate
Tamworth
Staffordshire
B77 4DS
UK
Tel: +44 (0) 1827 54281
Web: www. apolloadhesives. com

Atlas Minerals & Chemicals, Inc.
PO Box 38
1227 Valley Road
Mertztown
PA 19539
USA
Tel: +1 610 682 7171
Web: www. atlasmin. com

Avery Dennison
Speciality Tape Division
250 Chester Street-#5M
Painesville
OH 44077
USA
Tel: +1 440 358 3256
Web: www. averydennison. com

Bacon Industries, Inc.
192 Pleasant Street
Watertown
MA 02472
USA
Tel: +1 617 926 2550
Web: www. baconindustries. com

Beacon Adhesives, Inc.
125 MacQuesten Parkway South
Mount Vernon
NY 10550
USA
Tel: +1 914 699 3400
Web: www. beaconl. com

Beardow Adams
32 Blundells Road
Bradville
Milton Keynes
MK13 7HF
UK
Tel: +44 (0) 1908 574000
Web: www. beardowadams. com

Bluestar Silicones
21, Avenue Georges Pompidou
69003 Lyon 03
France
Tel: +33 4 72 13 19 00
Web: www. bluestarsilicones. com

Bostik, Inc.
11320 Watertown Plank Road
Wauwatosa
WI 53226-3434
USA
Tel: +1 800 558 4302
Web: www. bostik. com

Caswell Adhesives
6 Princewood Road
Earlstrees Industrial Estate
Corby
Northamptonshire
NN17 4AP
UK
Tel: +44 (0) 1536 464800
Web: www. caswell-adhesives. co. uk

Ciba Speciality Chemicals
540 White Plains Road
PO Box 2005
Tarrytown
NY 10591-9005
USA
Tel： +1 914 785 2000
Web： www. cibasc. com

Dow Automotive
1250 Harmon Road
Auburn Hills
MI 48362
USA
Tel： +1 248 391 6300
Web： www. dow. com/automotive

Dow Corning Corp.
3901 South Saginaw Road
Midland
MI 48640-0994
USA
Tel： +1 989 496 4400
Web： www. dowcorning. com

Dymax Corp.
318 Industrial Lane
Torrington
CT 06790
USA
Tel： +1 860 482 1010
Web： www. dymax. com

Epoxies, Etc
Starline Way
Cranston
RI 02921
USA
Tel： +1 401 946 5564
Web： www. epoxies. com

H. B. Fuller Company
1200 Willow Lake Boulevard
St. Paul
MN 55164-0683
USA
Tel： +1 651 236 5900
Web： www. hbfuller. com

Henkel KGaA
Henkelstrasse 67
D-40589 Düsseldorf
Germany
Tel： +49 (0) 211 7970
Web： www. henkel. com

Huntsman Advanced Materials
Everslaan 45
B-3078 Everberg
Belgium
Tel： +32 (0) 2 758 9211
Web： www. huntsman. com/advanced_materials

ITW Devcon
30 Endicott Street
Danvers
MA 01923
USA
Tel： +1 800 933 8266
Web： www. devcon. com

Klebchemie M. G. Becker GmbH & Co. KG
Max-Becker-Strasse 4
D-76356 Weingarten
Baden
Germany
Tel： +49 (0) 7244 620
Web： www. kleiberit. com

Leech Products, Inc.
PO Box 2147
Hutchinson
KS 67504-2147
USA
Tel： +1 620 669 0145
Web： www. leechadhesives. com

Lohmann GmbH & Co. KG
Irlicher Strasse 55
D-56567 Neuwied
Germany
Tel: +49 (0) 2631 340
Web: www. lohmann-tapes. com

Lord Corp.
111 Lord Drive
PO Box 8012
Cary
NC 27512-8012
USA
Tel: +1 919 468 5979
Web: www. lordadhesives. com

Master Bond, Inc.
154 Hobart Street
Hackensack
NJ 07601
USA
Tel: +1 201 343 8983
Web: www. masterbond. com

Momentive Performance Materials
187 Danbury Road
Wilton
CT 06897
USA
Tel: +1 607 786 8131
Web: www. momentive. com

National Starch and Chemical Company
10 Finderne Avenue
PO Box 6500
Bridgewater
NJ 08807-3300
USA
Tel: +1 800 797 4992
Web: www. nationalstarch. com

Permabond Engineering Adhesives Ltd
Wessex Business Park
Wessex Way
Colden Common
Winchester
Hampshire
SO21 1WP
UK
Tel: +44 (0) 1962 711661
Web: www. permabond. com

Permalite Plastics Corp.
1131 West Baker Street
Costa Mesa
CA 92626
USA
Tel: +1 714 548 1137
Web: www. permaliteplastics. com

Rohm and Haas
100 Independence Mall West
Philadelphia
PA 19106
USA
Tel: +1 877 288 5881
Web: www. rohmhaas. com

Synthetic Surfaces, Inc.
PO Box 241
Scotch Plains
NJ 07076-0241
USA
Tel: +1 908 233 6803
Web: www. nordot. com

Tra-Con, Inc.
45 Wiggins Avenue
Bedford
MA 01730
USA
Tel: +1 800 872 2661
Web: www. tra-con. com

15 机械连接器和机械连接装备

ATM Automation Ltd
Blaby Industrial Park
Winchester Avenue
Blaby
Leicestershire
LE8 4GZ
UK
Tel: +44 (0) 116 277 3607
Web: www.atmautomation.com

BalTec Corp.
130 Technology Drive
Canonsburg
PA 15317
USA
Tel: +1 724 873 5757
Web: www.baltecorporation.com

Branson Ultrasonics Corp.
41 Eagle Road
Danbury
CT 06813-1961
USA
Tel: +1 203 796 0400
Web: www.bransonultrasonics.com

Dukane Intelligent Assembly Solutions
2900 Dukane Drive
St. Charles
IL 60174
USA
Tel: +1 630 797 4900
Web: www.dukcorp.com

Emhart Fastening Teknologies
Automotive Division
PO Box 868
Mt Clemens
MI 48046
USA
Tel: +1 586 949 0440
Web: www.emhart.com

Extol Inc.
651 Case Karsten Drive
Zeeland
MI 49464
USA
Tel: +1 616 748 9955
Web: www.extolinc.com

Groov-Pin Corp.
59 Beaverbrook Road
Suite 203A
Lincoln Park
NJ 07035
USA
Tel: +1 973 628 0002
Web: www.groov-pin.com

KLN Ultraschall AG
Siegfriedstrasse 124
D-64646 Heppenheim
Germany
Tel: +49 (0) 6252 140
Web: www.kln.de

Met-L-Tec, Inc.
7156 Sulier Drive
Temperance
MI 48182-9510
USA
Tel: +1 734 847 7004
Web: www.met-l-tec.com

Orbitform
1600 Executive Drive
Jackson
MI 49203
USA
Tel: +1 800 957 4838
Web: www.orbitform.com

Penn Engineering & Manufacturing Corp.
5190 Old Easton Road
Danboro
PA 18916-1000
USA
Tel： +1 215 766 8853
Web： www. penn-eng. com

Phasa Ltd
10 Victoria Way
Studlands Industrial Estate
Newmarket
Suffolk
CB8 7SH
UK
Tel： +44 (0) 1638 561478
Web： www. phasa. co. uk

Service Tectonics, Inc.
2827 Treat Street
Adrian
MI 49221
USA
Tel： +1 517 263 0758
Web： www. padprinting. net

Sonitek
84 Research Drive
Milford
CT 06460
USA
Tel： +1 203 878 9321
Web： www. sonitek. com

Specialized Assembly Systems LLC
7685 Hawthorne Place
Livermore
CA 94550
USA
Tel： +1 925 606 7100
Web： www. sasusa. com

Spirol International Corp.
30 Rock Avenue
Danielson
CT 06239-1434
USA
Tel： +1 860 774 8571
Web： www. spirol. com

Stimpson Company, Inc.
900 Sylvan Avenue
Bayport
NY 11705-1097
USA
Tel： +1 877 765 0748
Web： www. stimpsonco. com

T. A. Systems
1842 Rochester Industrial Drive
Rochester Hills
MI 48309
USA
Tel： +1 248 656 5150
Web： www. ta-systems. com

Thermal Press International, Inc.
341 Stealth Ct.
Livermore
CA 94551
USA
Tel： +1 925 454 9800
Web： www. thermalpress. com

ToolTex Inc.
6160 Seeds Road
Grove City
OH 43123-8603
USA
Tel： +1 614 539 3222
Web： www. tooltex. com

Trinetics Group Inc.
1885 Armstrong Drive
Titusville

FL 32780
USA
Tel： +1 321 383 3456
Web： www. trineticsgroup. com

Yardley Products Corp.
10 West College Avenue
PO Box 357
Yardley
PA 19067-8357
USA
Tel： +1 215 493 2723
Web： www. yardleyproducts. com

塑料设计丛书

责任编辑：William A. Woishnis

Selection of Polymeric Materials：*How to Select Design Properties from Different Standards*，E. A. Campo，978-0-8155-1551-7，253 pp.，2008

The Effect of Temperature and Other Factors on Plastics and Elastomers，*2nd Ed.*，L. W. McKeen，978-0-8155-1568-5，804 pp.，2008

Chemical Resistance of Plastics and Elastomers，*4th Ed. Database*：*Rubbers*，*Thermoplastics*，*Thermoplastic Elastomers*，*and Thermosets*，edited by W. A. Woishnis，978-0-8155-1527-2，2008

Fluorinated Ionomers，W. Grot，978-0-8155-1541-8，250 pp.，2008

Handbook of Thermoplastic Elastomers，J. G. Drobny，978-0-8155-1549-4，424 pp.，2007

Compounding Precipitated Silica in Elastomers，N. Hewitt，978-0-8155-1528-9，600 pp.，2007

Essential Rubber Formulary：*Formulas for Practitioners*，V. C. Chandrasekaran，978- 0- 8155-1539-5，202 pp.，2007

The Effects of UV Light and Weather on Plastics and Elastomers，*2nd Ed.*，L. K. Massey，978-0-8155-1525-8，488 pp.，2007

Fluorinated Coatings and Finishes Handbook：*The Definitive User's Guide and Databook*，L. W. McKeen，978-0-8155-1522-7，400 pp.，2006

Fluoroelastomers Handbook：*The Definitive User's Guide and Databook*，A. L. Moore，0- 8155-1517- 0，359 pp.，2006

Reactive Polymers Fundamentals and Applications：*A Concise Guide to Industrial Polymers*，J. K. Fink，0-8155-1515-4，800 pp.，2005

Fluoropolymers Applications in Chemical Processing Industries，P. R. Khaladkar，and S. Ebnesajjad，0-8155-1502-2，592 pp.，2005

The Effect of Sterilization Methods on Plastics and Elastomers，*2nd Ed.*，L. K. Massey，0- 8155-1505-7，408 pp.，2005

Extrusion：*The Definitive Processing Guide and Handbook*，H. F. Giles，Jr.，J. R. Wagner，Jr.，and E. M. Mount，Ⅲ，0-8155-1473-5，572 pp.，2005

Film Properties of Plastics and Elastomers，*2nd Ed.*，L. K. Massey，1-884207-94-4，250 pp. 2004

Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage，J. Fischer，1-884207-72-3，244 pp.，2003

Fluoroplastics，*Volume 2*：*Melt-Processible Fluoroplastics*，S. Ebnesajjad，1-884207-96-0，448 pp.，2002

Permeability Properties of Plastics and Elastomers，*2nd Ed.*，L. K. Massey，1-884207-97-9，550 pp.，2002

Rotational Molding Technology，R. J. Crawford and J. L. Throne，1-884207-85-5，450 pp.，2002

Specialized Molding Techniques & Application，*Design*，*Materials and Processing*，H. P. Heim，and H. Potente，1-884207-91-X，350 pp.，2002

Plastics Failure Analysis and Prevention，J. Moalli，1-884207-92 8，400 pp.，2001

Fluoroplastics，*Volume 1*：*Non-Melt Processible Fluoroplastics*，S. Ebnesajjad，1-884207-84-7，365 pp.，2000

Coloring Technology for Plastics，R. M. Harris，1-884207-78-2，333 pp.，1999

Conductive Polymers and Plastics in Industrial Applications，L. M. Rupprecht，1-884207-77-4，302 pp.，1999

Imaging and Image Analysis Applications for Plastics, B. Pourdeyhimi, 1-884207-81-2, 398 pp. , 1999

Metallocene Technology in Commercial Applications, G. M. Benedikt, 1-884207-76-6, 325 pp. , 1999

Weathering of Plastics, G. Wypych, 1-884207-75-8, 325 pp. , 1999

Dynamic Mechanical Analysis for Plastics Engineering, M. Sepe, 1-884207-64-2, 230 pp. , 1998

Medical Plastics: Degradation Resistance and Failure Analysis, R. C. Portnoy, 1-884207-60-X, 215 pp. , 1998

Metallocene Catalyzed Polymers, G. M. Benedikt and B. L. Goodall, 1-884207-59-6, 400 pp. , 1998

Polypropylene: The Definitive User's Guide and Databook, C. Maier and T. Calafut, 1-884207-58-8, 425 pp. , 1998

Fatigue and Tribological Properties of Plastics and Elastomers, Plastics Design Library Staff, 1-884207-15-4, 595 pp. , 1995

Chemical Resistance, Vol. 1, Print Edition, Plastics Design Library Staff, 1-884207-12-X, 1100 pp. , 1994

Chemical Resistance, Vol. 2, Print Edition, Plastics Design Library Staff, 1-884207-13-8, 977 pp. , 1994

The Effect of Creep and Other Time Related Factors on Plastics and Elastomers, Plastics Design Library Staff, 1-884207-03-0, 528 pp. , 1991

国际视野　科技前沿

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952

上架指导　工业技术/机械工程
ISBN 978-7-111-39005-3
策划编辑◎曲彩云　/封面设计◎鞠杨
ISBN 978-7-111-39005-3
9 787111 390053
定价：149.00元